ISSN 2707-1162 (online)
ISSN 2707-1154 (print)

АГРАРНИЙ ВІСНИК ПРИЧОРНОМОР'Я

AGRARIAN BULLETIN OF THE BLACK SEA LITTORAL

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSUE 120

ODESA, 2026

АГРАРНИЙ ВІСНИК ПРИЧОРНОМОР'Я
Відповідно до наказу Міністерства освіти і науки України від 01 червня 2026 року входить до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»).
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ
№ 24151-13991 від 11.10.2019 року.
Внесено до реєстру суб'єктів у сфері медіа за
№ R30-04716 рішенням від 23.05.2024.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ
Голова редакційної колегії
Юрій БОЙКО (Україна)
Технічний редактор
Ірина ІЩЕНКО (Україна)
Члени редакційної колегії
Олена БЕЗАЛТИЧНА (Україна)
Руслан СУСОЛ (Україна)
Василь МАЧУК (Румунія)
Антон ПИСКУН (Україна)
Катерина РОДІОНОВА (Україна)
Марина РОМАНЬКО (Україна)
Іван ЯЦЕНКО (Україна)
Володимир КУШНІР (Україна)
Олександр РУДІК (Україна)
Анна КРИВЕНКО (Україна)
Юлія КОРЕНЕВА (Україна)
Ніна МУЛЮКІНА (Україна)
Олександр ВІНЮКОВ (Україна)
Юрій КОВАЛЬСЬКИЙ (Україна)
Erdal MATUR (Туреччина)
Sinem Özlem Enginler (Туреччина)
Георг НІКОЛАЄСКУ (Молдова)

Рекомендовано Вченою радою Одеського державного аграрного університету (Протокол №4 від 18.09.2026).

Засновник:
Одеський державний аграрний університет,
вул. Канатна, 99, м. Одеса, Україна, 65039
тел. +380487845732, Email: osau@osau.edu.ua
Адреса редакційної колегії:
Одеський державний аграрний університет.
вул. Пантелеймонівська, 13, м. Одеса, Україна, 65012,
тел. +380482371609,
Email: agrojournal@osau.edu.ua

Автори статей відповідають за оригінальність тексту, достовірність викладеного матеріалу, правильне цитування джерел та посилання на них.

AGRARIAN BULLETIN OF THE BLACK SEA LITTORAL
According to the order of the Ministry of Education and Science of Ukraine №. 886 of 02.07.2020 it is included in the List of scientific professional editions of Ukraine (category "B").
Certificate of state registration Series KB
№ 24151-13991. Date of issue 11.10.2019.
Included to the register of subjects in the field of media № R30-04716. Date of issue 23.05.2024.

EDITORIAL BOARD
Editor-in-chief
Yuriy BOYKO (Ukraine)
Technical editor
Iryna ISCHENKO (Ukraine)
Editorial board members
Olena BEZALTICHNA (Ukraine)
Ruslan SUSOL (Ukraine)
Vasyl MACHUK (Romania)
Anton PYSKUN (Ukraine)
Kateryna RODIONOVA (Ukraine)
Maryna ROMANKO (Ukraine)
Ivan YATSENKO (Ukraine)
Volodymyr KUSHNIR (Ukraine)
Oleksandr RUDIK (Ukraine)
Anna KRYVENKO (Ukraine)
Yuliya KORENEVA (Ukraine)
Nina MULUKINA (Ukraine)
Oleksandr VINUKOV (Ukraine)
Yuriy KOVALSKIY (Ukraine)
Erdal MATUR (Turkey)
Sinem Özlem Enginler (Turkey)
Georg NIKOLAESKU (Moldova)

Recommended by Academic Council of Odesa State Agrarian University (Protocol №4 from 18.09.2026).

Founder:
Odesa State Agrarian University
st. Kanatnaya, 99, Odesa, Ukraine, 65039
tel. +380487845732, Email: osau@osau.edu.ua
Editorial board address:
Odesa State Agrarian University
Panteleimonivska str., 13, Odesa, Ukraine,
65012, tel. +380482371609,
Email: agrojournal@osau.edu.ua

The authors are responsible for the originality and accuracy of the presented results and materials, correct citations and references to them.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

Микола Балта, Катерина Родіонова 6
БІОБЕЗПЕКА ТА ДЕЗІНФЕКЦІЯ ЯК ОСНОВА ПРОФІЛАКТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕТЕРИНАРНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ У СВИНАРСТВІ

Олександр Боднар
ЗАСТОСУВАННЯ ТКАНИННОГО ПРЕПАРАТУ З ВИДАЛЕНИХ ПУХЛИН У КОМПЛЕКСНІЙ ТЕРАПІЇ СУК З ПУХЛИНАМИ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ 24

Андрій Лазоренко, Ірина Бондаренко
РЕНТГЕНОМОРФОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ АНАТОМІЇ КОПИТ КОНЕЙ ВЕРХОВИХ ТА РИСИСТИХ ПОРІД 36

Тетяна Буднік, Олег Пінський, Анастасія Пінська
ПАТОФІЗІОЛОГІЧНІ ТА ГІСТОМОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ХРОНІЧНОГО АТРОФІЧНОГО ГАСТРИТУ У СОБАК 48

Nina Dankevych
VOCAL COMMUNICATION IN CATS 63

Руслан Дубін, Ірина Попова, Сергій Улизько
ВПЛИВ ВНУТРІШНЬОЯЙЦЕВОГО ВВЕДЕННЯ НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА (AgNP) НА ЕМБРІОНАЛЬНИЙ РОЗВИТОК, ПРОДУКТИВНІСТЬ, АНТИОКСИДАНТНИЙ ТА ІМУННИЙ СТАТУС БРОЙЛЕРІВ 79

Antonina Haidamak, Vadym Ishchenko
ALLERGEN-SPECIFIC IMMUNOTHERAPY IN DOGS: CURRENT STATE AND PERSPECTIVES 99

Анастасія Лазаренко, Артем Іовенко
ПРІОННІ ЗАХВОРЮВАННЯ ТВАРИН: ВІД КОНФОРМАЦІЙНОЇ КОНВЕРСІЇ ДО ПРИНЦИПІВ БІОБЕЗПЕКИ 109

Олена Маценко, Людмила Кущ, Юрій Щепетільніков, Юлія Собакар, Діана Махотіна 121
ВПЛИВ КОМЕРЦІЙНИХ РАЦІОНІВ НА НУТРИТИВНИЙ ТА МЕТАБОЛІЧНИЙ СТАТУС СТЕРИЛІЗОВАНИХ ДОМАШНІХ КОТІВ

Людмила ОНИЩЕНКО
М'ЯСНА ПРОДУКТИВНІСТЬ МОЛОДНЯКУ КРОЛІВ НА ВІДГОДІВЛІ 135

Олена Савчук
ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ КУЛЬТУРИ БЕЗПЕКИ У ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА» 147

Zeynep Nilufer Akcasiz, Dilek Olgun Erdikmen
POSTOPERATIVE PAIN IN CANINE ORTHOPEDIC SURGERY: MECHANISMS, ASSESSMENT, AND FUTURE PERSPECTIVES 164

Ayşe Zeynep Ataş, Mehmet Erman Or
THERAPEUTIC APPROACHES TO EPILEPTIC SEIZURES AND STATUS EPILEPTICUS IN DOGS 180

Марина Скрипка, Ігор Панікар, Надія Дмитренко, Костянтин Супруненко
СИСТЕМНІ ПРОЯВИ ЗАСТІЙНОГО КАРДІОГЕННОГО СИНДРОМУ У КОТІВ: КЛІНІКО-АНАТОМІЧНИЙ АНАЛІЗ 192

Костянтин Костюшкевич
ВПЛИВ ПРЕПАРАТІВ ЗАЛІЗА РІЗНОЇ ФОРМИ НА РІВЕНЬ ГЕМОГЛОБІНУ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПОРОСЯТ 207

Роман Милостивий
ІНТЕГРАЛЬНІ ЛЕЙКОЦИТАРНІ ІНДЕКСИ ЯК ДОСТУПНІ МАРКЕРИ ІМУННОГО СТАТУСУ КОРІВ ЗА УМОВ ТЕПЛОВОГО СТРЕСУ 220

Анатолій Сабодаш, Ігор Ніколенко, Світлана Косенко, Олег Головань, Денис Скорик
КАНІСТЕРАПІЯ ЯК ЕЛЕМЕНТ ПСИХОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РЕАБІЛІТАЦІЇ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ У СИСТЕМІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ 238
Вікторія Мельник, Наталія Прокопенко, Світлана Базиволяк, Оксана Онищук
ВІДТВОРЮВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ КУРЕЙ КРОСУ «НОВОГЕН БРАУН» *255*

РОЗДІЛ 2. СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

Igor Dudarev, Serhii Uminskyi, Andriy Khomenko, Valentyna Makarchuk, Serhiy Zhitkov
TRANSFORMATION OF QUALITY INDICATORS AND PROLONGATION OF STORAGE OF COMPOUND FEED USING A PRESERVATIVE 268
Богдан Лозінський, Микола Грабовський
ФОРМУВАННЯ ДОВЖИНИ ГОЛОВНОГО КОЛОСА ПШЕНИЦІ ЯРОЇ М'ЯКОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ПОЗАКОРЕНЕВИХ ПІДЖИВЛЕНЬ ТА ФУНГІЦИДІВ У ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ 279
Гинга Д. Е., Кравченко В.С.
УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО У ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ 297
Іван Моцний, Ольга Молодченкова, Микола Литвиненко, Євгенія Голуб, Тетяна Нарган, Марина Бальвінська, Раїса Вожегова, Зоя Щербина
ІНТРОГРЕСИВНІ ЛІНІЇ – ЦІННИЙ ВИХІДНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ СЕЛЕКЦІЇ ОЗИМОЇ М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ (TRITICUM AESTIVUM L.) 311
Юрій Сотников, Сергій Рєзнік, Дмитро Гавва, Юрій Дегтярьов
ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА АЛЕЛОПАТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТІВ РІЗНИХ АГРОЕКОСИСТЕМ ЗА МОРФОМЕТРИЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ПРОРОСТКІВ 16 ТЕСТ-КУЛЬТУР 329
Віталій Яценко, Володимир Троценко, Оксана Лаговська, Віталій Котенко
ДИНАМІКА БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ВРОЖАЮ SALVIA HISPANICA L. ЗАЛЕЖНО ВІД ФОНУ УДОБРЕННЯ 345
Юрій Бойко, Ірина Бойко
ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД ЗА ВІД ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КУЛЬТУРИ CHLORELLA VULGARIS 359

РОЗДІЛ 1. ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

УДК 636.4.09:614.48
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.01

Микола БАЛТА,
аспірант,
кафедра інфекційної патології, біобезпеки та ветеринарно-санітарного інспектування імені проф. В.Я. Атамася
Одеський державний аграрний університет
м. Одеса, Україна
ORCID ID: 0009-0001-7703-1812
e-mail: baltanikolay@gmail.com

Катерина Родіонова,
кандидат ветеринарних наук, доцент,
доцент кафедри інфекційної патології, біобезпеки та ветеринарно-санітарного інспектування ім. професора В. Я. Атамася
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна
ORCID ID: 0000-0002-7245-4525
e-mail: katerina.rodionova@ukr.net

БІОБЕЗПЕКА ТА ДЕЗІНФЕКЦІЯ ЯК ОСНОВА ПРОФІЛАКТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕТЕРИНАРНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ У СВИНАРСТВІ

Анотація.

Свинарство є однією з найбільш значущих галузей тваринництва, однак сьогодні воно функціонує в умовах одночасного впливу епізоотичних, фармакологічних і нормативно-правових викликів. До найважливіших із них для української галузі належать поширення епізоотій, серед яких африканська чума свиней, поширення антибіотикорезистентності та впровадження нових вимог ветеринарного законодавства, гармонізованого з європейськими стандартами. Метою дослідження є теоретичне обґрунтування ролі комплексної біобезпеки та ефективної дезінфекції як основи профілактичної моделі ветеринарного менеджменту у свинарстві. У роботі застосовано методи системного, порівняльно-правового та бібліографічного аналізу, що дало змогу узагальнити сучасні підходи до запобігання інфекційним хворобам у свиногосподарствах. Встановлено, що перехід від реактивного лікування до превентивного управління здоров'ям стада є найефективнішою та найбільше економічно доцільною стратегією розвитку свинарства. Доведено, що біобезпека та дезінфекція одночасно знижують ризик занесення і поширення збудників хвороб, обмежують потребу в антибіотикотерапії та сприяють виконанню сучасних вимог щодо охорони здоров'я тварин і безпечності виробництва. Обґрунтовано, що вибір дезінфікуючих засобів має здійснюватися з урахуванням спектра антимікробної дії, стійкості до органічного навантаження, безпечності для тварин і персоналу, а також технологічної та економічної доцільності застосування. Запропонований підхід також узгоджується з концепцією «Єдиного здоров'я», оскільки поєднує ветеринарні, виробничі та медико-санітарні аспекти в межах єдиної профілактичної стратегії. Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості використання її результатів для розробки галузевих протоколів

біобезпеки, програм очищення та дезінфекції, а також систем профілактики хвороб у свинарських господарствах. Отримані результати підтверджують, що профілактична модель, заснована на біобезпеці, є ключовим інструментом підвищення стійкості, конкурентоспроможності та біологічної безпеки свинарства в сучасних умовах.

Ключові слова: африканська чума свиней, антибіотикорезистентність, благополуччя, One Health, HACCP, епізоотичний моніторинг, ризик-орієнтований підхід.

Вступ. Свинарство є однією з провідних галузей тваринництва у світі та в Україні, що забезпечує населення цінними білковими продуктами харчування. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), свинина становить близько 36-38 % від загального світового виробництва м'яса, що робить галузь стратегічно важливою для забезпечення глобальної продовольчої безпеки [17]. Водночас, сучасне свинарство в Україні функціонує в умовах одночасного тиску основних взаємопов'язаних ветеринарних викликів: епізоотичного (африканська чума свиней), фармакологічного (антибіотикорезистентність) та нормативно-правового (вимоги нового ветеринарного законодавства). Кожен із них окремо є серйозним випробуванням для галузі, проте саме їхня сукупна дія формує принципово нові вимоги до системи ветеринарного менеджменту свинарських підприємств.

Спільним для забезпечення ефективної відповіді на окреслені виклики є перехід від реактивної (терапевтичної) до превентивної (профілактичної) парадигми ветеринарного управління. Профілактика хвороб, на відміну від їхнього лікування, дозволяє одночасно знизити економічні збитки від АЧС, мінімізувати потребу в антибіотиках і відповідати вимогам законодавства щодо охорони здоров'я стада. Двома фундаментальними інструментами профілактики є комплексна біобезпека підприємства та застосування високоефективних дезінфікуючих засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика епізоотичної безпеки свинарства, антимікробної резистентності та систем біологічної безпеки господарств є предметом активних наукових досліджень як на міжнародному, так і на національному рівнях.

Сучасні дослідження біобезпеки у свинарстві зосереджені на трьох взаємопов'язаних напрямах: контролі африканської чуми свиней (АЧС), скороченні необґрунтованого застосування антимікробних препаратів і підвищенні ефективності очищення та дезінфекції виробничого середовища. Такий підхід зумовлений тим, що біобезпека впливає не лише на занесення збудників у господарство, а й на їх поширення між технологічними групами, потребу в лікуванні тварин та безпечність продукції.

Збудник АЧС належить до родини *Asfarviridae* та є великим оболонковим ДНК-вмісним вірусом зі складним циклом реплікації [5]. Патогенез інфекції визначається вірулентністю штаму, дозою і шляхом зараження: високовірулентні ізоляти спричиняють у домашніх свиней і європейського дикого кабана гострий перебіг із високою летальністю, тоді як за меншої вірулентності можливі підгострі та хронічні форми [8, 15]. В експерименті з

пероральним введенням низької дози кавказького ізоляту встановлено неоднакову сприйнятливість тварин і варіабельний інкубаційний період, що ускладнює раннє виявлення інфекції та підтверджує небезпеку контамінованих кормів і матеріалів [31].

Епізоотологічні дані свідчать, що ризик поширення АЧС формується сукупністю виробничих і поведінкових чинників. За результатами оцінювання ризиків в Індії до найбільш небезпечних віднесено переміщення свиней і продукції, згодовування харчових відходів, недостатній контроль відвідувачів і транспортних засобів та несвоєчасне повідомлення про підозру на хворобу [9]. В Україні опитування власників присадибних господарств виявило розрив між обізнаністю щодо АЧС і фактичним виконанням заходів біобезпеки, зокрема щодо ізоляції тварин, поводження з кормами та інформування ветеринарної служби [25]. Ретроспективний аналіз за 2012–2022 рр. показав зв'язок між реєстрацією випадків серед дикого кабана і спалахами серед домашніх свиней; автори також наголосили, що зменшення кількості офіційно зареєстрованих випадків може частково відображати недостатню інтенсивність активного та пасивного нагляду [29]. Порівняльні дані щодо України та країн Східної Європи підтверджують, що просторово-часова динаміка хвороби залежить від щільності свинопоголів'я, участі дикого кабана та результативності протиепізоотичних заходів [52].

Наслідки АЧС виходять за межі окремого господарства. Моделювання масштабного спалаху в Китаї продемонструвало, що скорочення поголів'я змінює світові потоки торгівлі м'ясом, ціни на свинину та попит на інші джерела тваринного білка [24]. Для європейського ринку встановлено вплив захворювання через прямі виробничі втрати, витрати на ліквідацію спалахів і торговельні обмеження, причому масштаб наслідків залежить від тривалості заборон та можливості регіоналізації торгівлі [26]. На тлі вагомої ролі тваринництва у світовому продовольчому забезпеченні [17] ці результати обґрунтовують необхідність профілактичної моделі управління, а не реагування лише після лабораторного підтвердження спалаху.

Окремою складовою ветеринарного менеджменту є стримування антимікробної резистентності. Огляд взаємозв'язку між благополуччям свиней і використанням антибіотиків наводить дані, за якими тварини в окремих інтенсивних системах отримували в середньому сім діючих речовин упродовж 73,7 % життя; стрес, висока щільність утримання та незадовільний мікроклімат підвищували захворюваність і потребу у групових обробках [4]. За глобальною оцінкою, споживання антимікробних препаратів у продуктивному тваринництві становило близько 63,2 тис. т у 2010 р., а за збереження тодішніх тенденцій могло зрости на 67 % до 2030 р. [38]. Тому європейські та міжнародні стратегії передбачають обмеження рутинного профілактичного застосування, ветеринарний контроль призначень, епіднагляд і категоризацію критично важливих препаратів [14, 27, 44]. Прогноз до 10 млн смертей на рік від резистентних інфекцій до 2050 р., наведений у матеріалах ВООЗ, підкреслює

суспільне значення скорочення необґрунтованого антимікробного навантаження [40].

Результативність біобезпеки значною мірою залежить від якості мийки, очищення та дезінфекції. Під час вибору засобу необхідно враховувати спектр антимікробної дії, робочу концентрацію, тривалість контакту, температуру, сумісність із матеріалом поверхні, наявність органічних забруднень і безпечність для персоналу та тварин [6]. Дослідження чотирьох типів хлоровмісних засобів на поверхнях, контамінованих *Escherichia coli* та бактеріофагом *Phi6*, підтвердило, що ефект визначається не лише діючою речовиною, але й дозою, експозицією та попереднім видаленням органічного матеріалу [21]. Водночас тривале сублетальне застосування четвертинних амонієвих сполук може сприяти формуванню толерантності окремих мікроорганізмів і потенційному співвідбору ознак антибіотикорезистентності, що потребує дотримання регламентованих концентрацій і періодичної перевірки ефективності [10].

Огляд систем біобезпеки свиноферм розмежовує зовнішні заходи – контроль придбання тварин, кормів, транспорту, відвідувачів, карантинування та огородження – і внутрішні заходи, серед яких поділ технологічних груп, принцип «усе зайнято – усе вільно», санітарні розриви, зміна одягу та інвентарю, очищення і дезінфекція [3]. Однак фактичне виконання цих вимог залишається нерівномірним. У дослідженні дрібнотоварного свинарства Північної Уганди, що охопило 49 партисипативних оцінювань, 574 учасників і 64 села, респонденти загалом знали клінічні ознаки та шляхи передачі АЧС, але ризиковані практики зберігалися через економічні й організаційні обмеження [13]. Оцінювання очищення і дезінфекції на фермах десяти європейських країн також виявило істотну варіабельність протоколів, послідовності операцій та контролю їх результативності [23]. У районах ензоотичного поширення АЧС поведінка виробників визначалася не лише знаннями, а й очікуваними витратами, доступністю ресурсів, довірою до ветеринарних служб і попереднім досвідом спалахів [45].

Для України актуальним є переведення загальних вимог біобезпеки у стандартизовані процедури конкретного господарства. Вітчизняні дослідники визначають критичними контроль доступу, санітарне зонування, карантин, безпечне поводження з кормами, відходами й транспортом, систематичне навчання персоналу та документування виконаних заходів [49]. Застосування комплексних дезінфектантів може поліпшувати мікробіологічні показники середовища і продукції свинарства лише за умови попереднього механічного очищення, правильного приготування робочих розчинів та витримування експозиції [50]. Отже, опубліковані праці достатньо повно характеризують окремі складові контролю АЧС, антимікробної резистентності та дезінфекції, проте недостатньо дослідженим залишається їх поєднання в єдиній профілактичній моделі ветеринарного менеджменту свинарського підприємства. Саме це визначає необхідність комплексного оцінювання біобезпеки та

дезінфекції як взаємопов'язаних інструментів запобігання інфекційним ризикам і скорочення потреби в антимікробних препаратах.

Таким чином, аналіз наукової літератури свідчить про зростаючу увагу дослідницької спільноти до інтегрованих підходів у системі ветеринарного управління свинарством, де біобезпека, раціональне використання антимікробних препаратів та відповідність сучасним регуляторним вимогам розглядаються як взаємопов'язані складові єдиної стратегії забезпечення стійкості галузі. Проте недостатнє вивчення з цього питання у комплексі обумовлює вибір теми наукового дослідження.

Метою статті є обґрунтування профілактичної парадигми управління здоров'ям стада свиней на основі комплексної профілактики хвороб за рахунок біобезпеки та застосування високоефективних дезінфікуючих засобів як інтегрованої відповіді на сукупність сучасних ветеринарних викликів.

Виклад основного матеріалу дослідження. ***Сучасні ветеринарні виклики у свинарстві.*** Африканська чума свиней є найбільш руйнівним епізоотичним викликом для свинарства України та Європи. Захворювання характеризується летальністю до 100% у невакцинованих популяцій та відсутністю комерційних вакцин [5, 15; 31].

Починаючи з 2012 року, африканська чума свиней поступово поширювалася більшістю регіонів України, а її тривала ензоотія створила постійну загрозу для промислових і присадибних господарств. За результатами ретроспективного аналізу, проведеного на основі українських даних за 2012–2022 роки, хвороба набула ендемічних рис у популяції дикого кабана, що ускладнює повне викорінення збудника та підвищує ризик повторних заносів у свинарські господарства. Додатково, наявні епізоотичні спостереження в Україні підтверджують регулярне виникнення нових осередків, що свідчить про збереження актуальності проблеми [25, 29, 52].

Небезпечною особливістю збудника є його виняткова витривалість: вірус може зберігатися до 70 діб у крові за кімнатної температури, а також тривалий час виживати в продуктах тваринного походження, зокрема в сироватці крові – до 18 місяців [8, 20]. Інші джерела [1, 47] також демонструють, що вірус здатен тривалий час зберігатися в різних біологічних субстратах і харчових продуктах, що суттєво ускладнює санацію осередків та підсилює ризики для свиногосподарств.

З огляду на це, АЧС несе ключові ризики для перспектив галузі, серед яких: радикальне скорочення поголів'я, закриття дрібних і середніх господарств, закриття зовнішніх ринків збуту через карантинні обмеження [24, 26], значні втрати бюджетів регіонів внаслідок масових ерадикаційних заходів, зростання витрат господарств на посилення заходів біобезпеки [30, 46].

Другий, не менш важливий виклик глобального та вітчизняного свинарство – боротьба з антибіотикорезистентністю. Свинарство належить до найбільш антибіотикоємних галузей тваринництва, а тому є потенційним резервуаром резистентних мікроорганізмів і суттєвим фактором ризику для

здоров'я людей [14, 42, 48]. За оцінками ВООЗ, за відсутності дієвих заходів антибіотикорезистентність може спричиняти до 10 мільйонів смертей щороку до 2050 року [40]. У тваринництві ця проблема посилюється широким використанням антимікробних препаратів не лише для лікування, а й для профілактики та метафілактики [38], що сприяє відбору стійких штамів і поширенню генів резистентності [19, 22].

Регламент ЄС 2019/6, який застосовується з 2022 року, істотно змінив підхід до використання ветеринарних антимікробних препаратів: профілактичне застосування в групах тварин заборонено, а метафілактика дозволена лише за суворих ветеринарних підстав [33]. Це означає не лише правове обмеження, а й потребу в перебудові системи управління здоров'ям стада із перенесенням акценту на біобезпеку, вакцинацію, ранню діагностику, поліпшення умов утримання та зменшення технологічного стресу [34, 39]. Для України, яка поступово гармонізує ветеринарне законодавство з правом ЄС, такі вимоги набувають практичного значення як для регуляторів, так і для виробників.

Ключовими наслідками є ризик посилення поширення резистентних штамів [2] та можливе зростання собівартості виробництва під час переходу до альтернативних методів профілактики. Водночас, саме така трансформація створює умови для більш сталого та біобезпечного свинарства, орієнтованого на превентивні заходи та стале виробництво, а не на антибіотикотерапію.

З цією метою на глобальному рівні ВООЗ, ФАО та Всесвітня організація охорони здоров'я тварин формують ключові регламенти та рекомендації щодо застосування антибіотиків. Їхній Глобальний план дій щодо протимікробної резистентності визначає зменшення використання антибіотиків, моніторинг їхнього застосування та впровадження систем нагляду як основні напрями боротьби з антибіотикорезистентністю, зосереджуючись не лише на контролі, а й на зміні самої моделі ведення тваринництва [7; 43]. Міжнародні рекомендації заохочують біобезпеку, вакцинацію, покращення умов утримання, ранню діагностику та впровадження точного тваринництва як альтернативи надмірному використанню антибіотиків [27, 44]. Таким чином, глобальний підхід полягає не в повній відмові від антимікробних засобів, а в їх раціональному, контрольованому й обмеженому застосуванні.

В Європейському Союзі застосування антимікробних препаратів у тваринництві врегульовано досить жорстко. Базовими актами є Регламент ЄС 2019/4 [32] щодо медикаментозних кормів і Регламент ЄС 2019/6 [33] щодо ветеринарних лікарських засобів. Саме вони замінили попередню директивну модель і запровадили більш уніфіковані правила для ветеринарів, виробників та фармацевтичних компаній. Ці документи закріпили обмеження профілактичного використання антибіотиків, а також повну заборону їх застосування для стимуляції росту тварин.

Особливо важливо, що в ЄС антибіотики у тварин не розглядаються як інструмент рутинної профілактики. Їх призначення має бути ветеринарно обґрунтованим, а групове застосування допускається лише за суворих умов [16].

Такий підхід відображає не лише турботу про здоров'я тварин, а й ширшу політику ЄС у межах концепції «Єдиного здоров'я» та сталого розвитку [41].

В Україні регулювання поступово наближається до європейських стандартів. Для досвіду України важливо враховувати новий закон про ветеринарну медицину, який посилює вимоги до обігу ветеринарних препаратів, призначення антибіотиків і контролю їх використання. Зокрема, Закон України «Про ветеринарну медицину та благополуччя тварин» від 04.02.2021 № 1206-IX від [51] запроваджує сучасні інструменти управління безпечністю виробництва, зокрема системи HACCP, обов'язкові плани охорони здоров'я стада та компартменталізацію підприємств.

Він орієнтує існуючу виробничу систему на чіткіше ветеринарне обґрунтування призначень, підсилює відповідальність за обіг препаратів і поступово вводить правила, сумісні з підходами ЄС. Практично це означає, що українські виробники мають переходити до моделі, де антибіотики не використовуються профілактично без потреби, а їх застосування пов'язане з діагностикою, призначенням ветеринарного лікаря та належним обліком [51]. Для галузі свинарства це означає посилення біобезпеки, контроль умов утримання, вакцинацію, вдосконалення менеджменту стада та поступове скорочення залежності від протимікробних препаратів. Усі ці вимоги змінюють систему функціонування галузі: від реактивного лікування окремих хвороб до системного управління ризиками, профілактики та біобезпеки, що становить ще один виклик для операторів галузі та вимагає проактивного реагування.

З огляду на ці виклики, систематизовані на рисунку 1, важливими для реагування на них та подолання ризиків, які постають перед свинарськими господарствами, на наш погляд є дотримання заходів біобезпеки та гігієни як основи профілактики хвороб свиней та збереження здоров'я стада.

Біобезпека як системний інструмент профілактики. Нині система біологічної безпеки залишається на сьогодні найефективнішим механізмом захисту свинарських господарств від занесення та поширення збудника [36]. У широкому розумінні біобезпека охоплює сукупність організаційних, технологічних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на мінімізацію ризику проникнення патогенів у стадо (біоексклюзія), їх поширення всередині господарства та виходу назовні через ланцюг збуту (біоконтамінація) [18].

Ефективна система біобезпеки функціонує на двох взаємопов'язаних рівнях. На макрорівні реалізується через державну політику: регіональне зонування епізоотичного статусу, обов'язковий карантинний контроль при переміщенні тварин і продукції, моніторинг дикої фауни як потенційного резервуару збудника. На мікрорівні (на рівні конкретного господарства) включає контроль доступу відвідувачів і транспорту, санітарну обробку, ізоляцію новоприбулих тварин, управління кормами та водопостачанням, боротьбу зі шкідниками та членистоногими-векторами, а також належне поводження з відходами виробництва [9, 13].

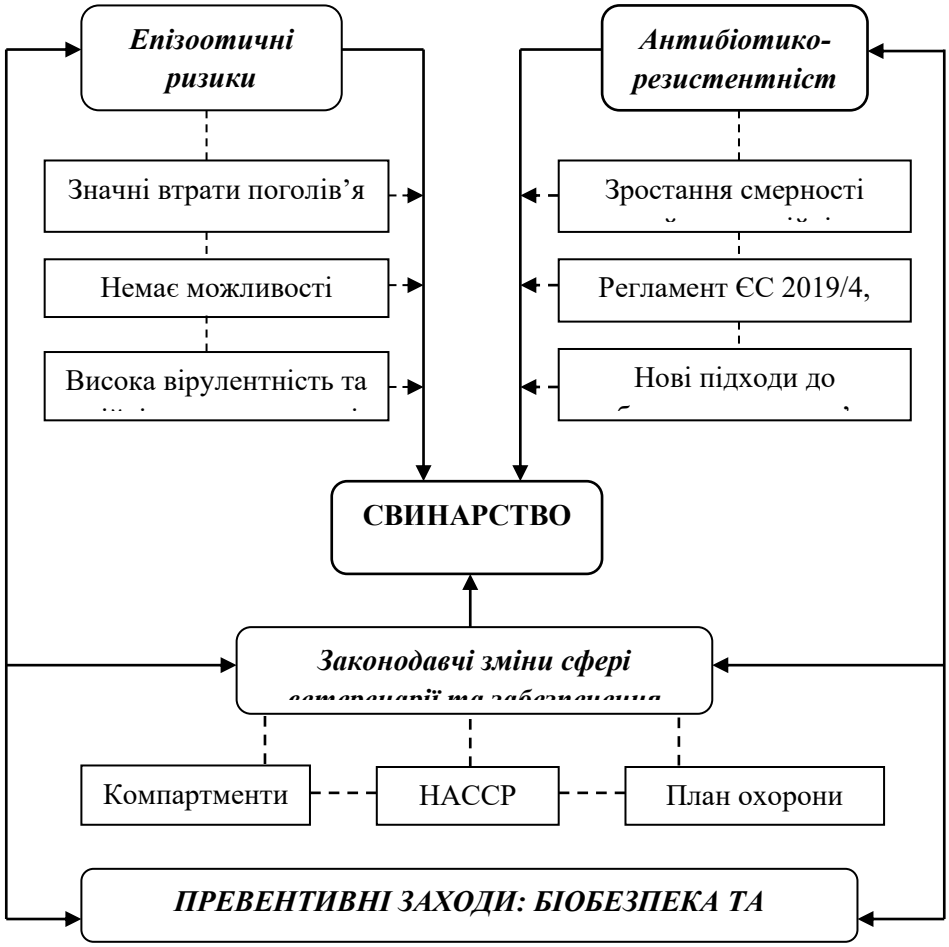


Рис. 1. Фактори впливу на розвиток свинарства в Україні
Джерело: сформовано автором

Принципово важливо, що біобезпека є ефективним інструментом не лише щодо АЧС, а й стосовно широкого спектра інфекційних патологій свиней, таких як репродуктивно-респіраторний синдром (РРСС), цирковірусної інфекції, хвороби Ауєскі та бактеріальних інфекцій респіраторного і шлунково-кишкового трактів. Зниження інфекційного тиску в господарстві через дотримання принципів біобезпеки безпосередньо зменшує захворюваність тварин [45], що своєю чергою скорочує потребу в антибіотикотерапії.

Таким чином, біобезпека виступає одним із ключових немедикаментозних інструментів протидії антимікробній резистентності, адже чим нижча інфекційна захворюваність у стаді, тим менший терапевтичний і профілактичний тиск антибіотиків, а отже – менший селективний тиск на формування резистентних штамів мікроорганізмів.

Господарства з високим рівнем біобезпеки демонструють достовірно нижчі показники як загальної захворюваності, так і споживання антимікробних препаратів порівняно з господарствами, де відповідні заходи впроваджені фрагментарно або відсутні [49]. Це підтверджує концептуальну позицію сучасної

ветеринарної медицини: інвестиції у систему біологічної безпеки є економічно та епідеміологічно виправданою альтернативою витратам на лікування і компенсацію збитків від спалахів хвороб. Тому в умовах посилення регуляторних вимог щодо обмеження антибіотиків як на рівні ЄС, так і в рамках національного законодавства України, розбудова комплексних систем біобезпеки набуває стратегічного значення для забезпечення конкурентоспроможності та стійкості галузі в довгостроковій перспективі.

Дезінфекція як ключовий елемент біобезпеки. Дезінфекція є одним із центральних елементів системи біобезпеки, оскільки саме вона забезпечує інактивацію збудників, що потрапляють у виробниче середовище свинарського підприємства. Її ефективність визначається сукупністю параметрів, серед яких вирішальне значення мають спектр антимікробної дії, здатність зберігати активність за умов органічного забруднення, стабільність у широкому діапазоні температур і pH, токсикологічна безпечність для тварин і персоналу, а також економічна доцільність і технологічна зручність застосування [23; 29]. Саме ці характеристики зумовлюють вибір дезінфекційних засобів у свинарстві залежно від епізоотичної ситуації та виробничих умов.

Спектр антимікробної дії є особливо важливим критерієм з огляду на різноманіття збудників, з якими пов'язане свинарство. Вірус АЧС є оболонковим вірусом, що зумовлює його відносну чутливість до широкого кола дезінфектантів. Натомість парвовірус свиней, цирковірус PCV2 та ентеровіруси належать до безоболонкових вірусів і характеризуються значно вищою стійкістю до хімічних агентів. Серед бактеріальних збудників найбільш резистентними вважаються *Mycobacterium spp.* та спори *Clostridium spp.*, які потребують застосування особливо активних дезінфекційних засобів і суворого дотримання технології обробки.

У практиці свинарства використовують кілька основних груп дезінфектантів. Глутаральдегід і комбіновані альдегідні препарати відзначаються широким спектром дії, включно з ефективністю щодо безоболонкових вірусів і мікобактерій, однак їхнє застосування обмежується подразнювальною дією на слизові оболонки та дихальні шляхи персоналу [50]. Окисники, зокрема пероксид водню, надоцтова кислота та хлорвмісні сполуки, демонструють широкий антимікробний спектр, проте їхня активність істотно знижується за наявності органічного навантаження, що робить попереднє механічне очищення обов'язковою умовою ефективної дезінфекції [12]. Четвертинні амонієві сполуки є відносно безпечними для тварин і персоналу та добре працюють проти бактерій і оболонкових вірусів, але їхня ефективність щодо безоболонкових вірусів і спор є обмеженою [10, 21]. Йодофори доцільно використовувати для обробки обладнання та окремих поверхонь, а також у ветеринарно-гігієнічних процедурах, де важлива поєднана дія антисептичного і дезінфекційного характеру [6; 35].

Для свинарських підприємств доцільною є ротаційна схема застосування дезінфектантів різних хімічних груп, оскільки вона забезпечує ширший спектр

антимікробної дії та зменшує ризик відбору стійких мікробних популяцій. Ефективний протокол дезінфекції обов'язково включає механічне очищення, оскільки видалення гною та інших забруднень істотно підвищує результативність подальшої обробки. Далі має здійснюватися миття поверхонь, нанесення дезінфектанту у визначеній концентрації з дотриманням експозиції, а після висихання – повторна обробка перед заселенням приміщень тваринами. У межах такої послідовності саме механічне очищення є базовою передумовою успіху, а не другорядною технічною операцією [11, 37].

Таким чином, комплексна система біобезпеки, що включає очищення та дезінфекцію [3], узгоджується з новими вимогами ветеринарного законодавства України та положеннями європейського регулювання. Плани охорони здоров'я стада, які стали обов'язковими в межах сучасної правової моделі, передбачають превентивні заходи, сформовані у взаємодії з ветеринарним лікарем. У цьому контексті протоколи очищення і дезінфекції є невід'ємною частиною системи HACCP у ланцюгу «від ферми до столу». Такий підхід зміщує акцент із реактивного усунення наслідків хвороби на системне запобігання її виникненню.

Не менш суттєвим є те, що профілактична модель біобезпеки дозволяє підприємствам виконувати вимоги Регламенту ЄС 2019/6 щодо обмеження профілактичного застосування антибіотиків. Підтримання низького рівня інфекційного навантаження через належну біобезпеку та ефективну дезінфекцію зменшує захворюваність тварин і, відповідно, потребу в антибіотикотерапії. У такий спосіб створюються передумови для досягнення цілей протидії антимікробній резистентності без негативного впливу на продуктивність стада.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведений аналіз дозволяє констатувати, що в умовах сукупного тиску епізоотичних загроз, зокрема АЧС, глобальної кризи антибіотикорезистентності та жорсткіших нормативних вимог ключового значення набуває профілактична парадигма управління здоров'ям стада свиней. Її фундаментом є комплексна система біобезпеки підприємства у поєднанні з науково обґрунтованим застосуванням високоефективних дезінфікуючих засобів.

Встановлено, що дезінфекція та біобезпека є наскрізним ветеринарним інструментом, що одночасно: забезпечує знищення збудників небезпечних хвороб у середовищі підприємства; знижує рівень патогенного тиску на стадо і, відповідно, потребу в антибіотикотерапії, що є практичним внеском у боротьбу з антибіотикорезистентністю; відповідає вимогам нового ветеринарного законодавства у частині HACCP, планів охорони здоров'я стада та компартменталізації.

Концептуальне обґрунтування профілактичної системи ветеринарного менеджменту, що інтегрує біобезпеку та ефективну дезінфекцію як єдину відповідь на основні сучасні виклики галузі.

Перспективами подальших досліджень є порівняльна оцінка ефективності конкретних вітчизняних та імпортованих дезінфектантів щодо збудників

ключових хвороб свиней в умовах виробничих приміщень, а також розробка галузевих протоколів біобезпеки для підприємств різних типів і форм власності.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Abworo E. O. Strengthen biosecurity for the control of ASF along the value chain - Scavenging for food and use of food waste. WOAH, 2023. URL: https://rr-africa.woah.org/app/uploads/2023/08/26-sector-3-scavenging-for-food-and-use-of-food-waste-okoth.pdf
2. Ahmed S. K., Hussein S., Qurbani K., Ibrahim R. H., Fareeq A., Mahmood K. A., Mohamed M. G. Antimicrobial resistance: Impacts, challenges, and future prospects. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*. 2024. Vol. 2. P. 100081. DOI: 10.1016/j.glmedi.2024.100081.
3. Alarcón L. V., Alberto A. A., Mateu E. Biosecurity in pig farms: A review. *Porcine Health Management*. 2021. Vol. 7. P. 5. DOI: 10.1186/s40813-020-00181-z
4. Albernaz-Gonçalves R., Olmos Antillón G., Hötzel M. J. Linking animal welfare and antibiotic use in pig farming – A review. Animals. 2022. Vol. 12. P. 216. DOI: 10.3390/ani12020216.
5. Alonso C., Borca M., Dixon L., Revilla Y., Rodriguez F. et al. ICTV virus taxonomy profile: Asfarviridae. *Journal of General Virology*. 2018. Vol. 99. P. 613–614. DOI: 10.1099/jgv.0.001049.
6. Artasensi A., Mazzotta S., Fumagalli L. Back to Basics: Choosing the Appropriate Surface Disinfectant. *Antibiotics*. 2021. Vol. 10, No. 6. P. 613. DOI: 10.3390/antibiotics10060613.
7. Beechinor J. G. Veterinary antibiotic availability: what the future holds. *Veterinary Ireland Journal*. 2022. Vol. 12, No. 8. P. 444–446. URL: https://www.veterinaryirelandjournal.com/images/2022/august2022/pdfs/focus1_august_2022.pdf
8. Blome S., Gabriel C., Beer M. Pathogenesis of African swine fever in domestic pigs and European wild boar. *Virus Research*. 2013. Vol. 173. P. 122–130. DOI: 10.1016/j.virusres.2012.10.026.
9. Bora M., Bora D. P., Manu M., Barman N. N., Dutta L. J., Kumar P. P., Poovathikkal S., Suresh K. P., Nimmanapalli R. Assessment of risk factors of African swine fever in India: Perspectives on future outbreaks and control strategies. *Pathogens*. 2020. Vol. 9. P. 1044. DOI: 10.3390/pathogens9121044.
10. Boyce J. M. Quaternary ammonium disinfectants and antiseptics: tolerance, resistance and potential impact on antibiotic resistance. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*. 2023. Vol. 12, No. 1. P. 32. DOI: 10.1186/s13756-023-01241-z.
11. Brown E., Dhanireddy K., Teska P., Eifert J., Williams R. C., Boyer R. Influence of drying time on prewetted disinfectant towelettes to disinfect glass surfaces. *American Journal of Infection Control.* 2020. Vol. 48. P. 846–848. DOI: 10.1016/j.ajic.2019.11.006.
12. Centers for Disease Control and Prevention. Chemical disinfectants. *Disinfection and Sterilization Guideline*. 2021. URL: https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/disinfection-methods/chemical.html
13. Chenais E., Boqvist S., Sternberg-Lewerin S., Emanuelson U., Ouma E., Dione M., Aliro T., Crafoord F., Masembe C., Ståhl K. Knowledge, Attitudes and Practices Related to African swine fever within Smallholder Pig Production in Northern Uganda. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2017. Vol. 64. P. 101–115. DOI: 10.1111/tbed.12347.
14. Dimuccio M. M., Conforti V., Celentano F. E., Circella E., Salvaggiulo A., Bozzo G., Corrente M. Regulation of Antibiotic Use in Livestock: European and International Strategies to Prevent and Control Antimicrobial Resistance and Ensure Animal Welfare. *Antibiotics*. 2026. Vol. 15, No. 1. P. 67. DOI: 10.3390/antibiotics15010067.

15. Dixon L. K., Stahl K., Jori F. et al. African Swine Fever Epidemiology and Control. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2020. Vol. 8. P. 221–246. DOI: 10.1146/annurev-animal-021419-083741.
16. EMA – European Medicines Agency. Categorisation of antibiotics in the European Union. Answer to the request from the European Commission for updating the scientific advice on the impact on public health and animal health of the use of antibiotics in animals. 2019. URL: https://www.ema.europa.eu/en/news/categorisation-antibiotics-used-animals-promotes-responsible-use-protect-public-and-animal-health
17. FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2024. Rome : FAO, 2024. URL: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8dde9b01-6771-45bc-ad39-cf194b616f9f/content/. DOI: 10.4060/cd2971en.
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Organisation for Animal Health / World Bank. Good practices for biosecurity in the pig sector – Issues and options in developing and transition countries. *FAO Animal Production and Health Paper*. No. 169. Rome : FAO, 2010. URL: https://www.fao.org/4/i1435e/i1435e00.pdf.
19. Fournier P.-E., Vallenet D., Barbe V., Audic S., Ogata H., Poirel L., Richet H., Robert C., Mangenot S., Abergel C. Comparative genomics of multidrug resistance in Acinetobacter baumannii. PLoS Genetics. 2006. Vol. 2. P. e7. DOI: 10.1371/journal.pgen.0020007.
20. Friedrich Loeffler Institut. African swine fever – between the poles of textbook, history and current situation. 2019. URL: https://food.ec.europa.eu/system/files/2019-02/ad_control-measures_asf_between-the-poles-of-textbook-pres09.pdf
21. Gallandat K., Wolfe M. K., Lantagne D. Surface Cleaning and Disinfection: Efficacy Assessment of Four Chlorine Types Using Escherichia coli and the Ebola Surrogate Phi6. *Environmental Science & Technology*. 2017. Vol. 51. P. 4624–4631. DOI: 10.1021/acs.est.6b06014.
22. Littmann J., Viens A. M. The Ethical Significance of Antimicrobial Resistance. Public Health Ethics. Oxford : Oxford University Press, 2015. Vol. 8. P. 209–224. DOI: 10.1093/phe/phv025.
23. Makovska I., Chantziaras I., Caekebeke N., Dhaka P., Dewulf J. Assessment of Cleaning and Disinfection Practices on Pig Farms across Ten European Countries. *Animals*. 2024. Vol. 14, No. 4. P. 593. DOI: 10.3390/ani14040593.
24. Mason-D'Croz D., Bogard J. R., Herrero M. et al. Modelling the global economic consequences of a major African swine fever outbreak in China. *Nature Food*. 2020. Vol. 1. P. 221–228. DOI: 10.1038/s43016-020-0057-2.
25. Muñoz-Gómez V., Solodiankin O., Rudova N., Gerilovych A., Nychyk S., Hudz N., Ukhovska T., Sytiuk M., Polischuk V., Mustra D., De Nardi M., Lechner I., Schuppers M. Supporting control programs on African swine fever in Ukraine through a knowledge, attitudes, and practices survey targeting backyard farmers. *Veterinary Medicine and Science*. 2021. Vol. 7, No. 5. P. 1786–1799. DOI: 10.1002/vms3.578.
26. Niemi J. K. Impacts of African swine fever on pigmeat markets in Europe. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020. Vol. 7. P. 634. DOI: 10.3389/fvets.2020.00634.
27. OIE. Critically important antimicrobial agents for veterinary medicine. World Organisation for Animal Health. 2019. URL: https://www.oie.int.
28. Omelchenko H., Avramenko N. O., Petrenko M. O., Wojciechowski J., Pejsak Z., Woźniakowski G. Ten Years of African Swine Fever in Ukraine: An Endemic Form of the Disease in the Wild Boar Population as a Threat to Domestic Pig Production. *Pathogens.* 2022. Vol. 11, No. 12. P. 1459. DOI: 10.3390/pathogens11121459.
29. Paliy A. P., Kovalenko L. V., Rodionova K. O., Pavlichenko O. V., Khimych M. S., Balta M. P. Pathomorphological Changes in Laboratory Animals Exposed to Lethal Doses of Disinfectants. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 107–112. DOI: 10.15421/022416.
30. Penrith M. L. Current status of African swine fever. *CABI Agriculture and Bioscience*. 2020. Vol. 1. P. 11. DOI: 10.1186/s43170-020-00011-w.

31. Pietschmann J., Guinat C., Beer M., Pronin V., Tauscher K. et al. Course and transmission characteristics of oral low-dose infection of domestic pigs and European wild boar with a Caucasian African swine fever virus isolate. *Archives of Virology*. 2015. Vol. 160. P. 1657–1667. DOI: 10.1007/s00705-015-2430-2.
32. Regulation (EU) 2019/4 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the manufacture, placing on the market and use of medicated feed. *Official Journal of the European Union*. 2019. L4. P. 1–23. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/4/oj/eng
33. Regulation (EU) 2019/6 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on veterinary medicinal products and repealing Directive 2001/82/EC. *Official Journal of the European Union*. 2019. L4. P. 43–167. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/6/oj/eng
34. Rigueira L. L., Perecmanis S. Concerns about the use of antimicrobials in swine herds and alternative trends. *Translational Animal Science*. 2024. Vol. 8. P. txae039. DOI: 10.1093/tas/txae039.
35. Rutala W. A., Weber D. J. Monitoring and improving the effectiveness of surface cleaning and disinfection. *American Journal of Infection Control*. 2016. Vol. 44. P. e69–e76. DOI: 10.1016/j.ajic.2015.10.039.
36. Scollo A., Perrucci A., Stella M. C., Ferrari P., Robino P., Nebbia P. (2023). Biosecurity and Hygiene Procedures in Pig Farms: Effects of a Tailor-Made Approach as Monitored by Environmental Samples. *Animals*. 2023. Vol. 13, No. 7. Art. 1262. DOI: 10.3390/ani13071262.
37. Stull J., Bjorvik E., Bub J., Dvorak G., Petersen C., Troyer H. 2018 AAHA Infection Control, Prevention, and Biosecurity Guidelines. *Journal of the American Animal Hospital Association*. 2018. Vol. 54. P. 297–326. DOI: 10.5326/JAAHA-MS-6903.
38. Van Boeckel T. P., Brower C., Gilbert M., Grenfell B. T., Levin S. A., Robinson T. P., Laxminarayan R. Global trends in antimicrobial use in food animals. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2015. Vol. 112, No. 18. P. 5649–5654. DOI: 10.1073/pnas.1503141112.
39. WEF. Are we acting fast enough on antimicrobial resistance? *Health and Healthcare Systems.* 2025. URL: https://www.weforum.org/stories/2025/11/antimicrobial-resistance-superbugs-antibiotics/
40. WHO. Deaths due to AMR estimated to reach 10 million people by 2050, Ministry of Health and WHO launch national strategy. 2024. URL: https://www.who.int/indonesia/news/detail/20-08-2024-deaths-due-to-amr-estimated-to-reach-10-million-people-by-2050--ministry-of-health-and-who-launch-national-strategy
41. WHO. Guidelines on use of medically important antimicrobials in food-producing animals. Geneva : WHO, 2017. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789241550130
42. WHO. No time to wait: securing the future from drug-resistant infections. Report to the secretary-general of the United Nations. 2019. URL: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/no-time-to-wait-securing-the-future-from-drug-resistant-infections-en.pdf
43. WHO. World Health Organization Global Action Plan on Antimicrobial Resistance. Geneva : WHO, 2015. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789241509763
44. WOAH. Strategy on antimicrobial resistance and prudent use of antimicrobials. 2022. URL: https://www.woah.org/app/uploads/2021/03/en-amr-strategy-2022-fi-nal-single-pages.pdf
45. Xu B., Zhou L., Qiu C., Li Y., Zhang W. What determines pig farmers' epidemic coping behaviors: A qualitative analysis of endemically infected areas in relation to African swine fever. *Veterinary Sciences*. 2021. Vol. 8. P. 266. DOI: 10.3390/vetsci8110266.
46. Xu G., Sarkar A., Qian L., Shuxia Z., Rahman A., Yongfeng T. The impact of the epidemic experience on the recovery of production of pig farmers after the outbreak-Evidence from the impact of African swine fever (ASF) in Chinese pig farming. *Preventive Veterinary Medicine*. 2022. Vol. 199. P. 105568. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2022.105568.
47. Zani L., Depner K., Dietze K., Globig A. Preventing transmission of ASF between domestic pigs and wild boar. FAO, 2019. URL: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/reu/europe/documents/events2019/ASF_reg/20_.pdf

48. Zhu Y.-G., Johnson T. A., Su J.-Q., Qiao M., Guo G.-X., Stedtfeld R. D., Hashsham S. A., Tiedje J. M. Diverse and abundant antibiotic resistance genes in Chinese swine farms. Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 2013. Vol. 110. P. 3435–3440. DOI: 10.1073/pnas.1222743110.
49. Вержиховський О., Недосєков В. Ключові аспекти біобезпеки в сучасному тваринництві. *Український журнал ветеринарних наук*. 2024. Т. 15, № 3. С. 41–54. DOI: 10.31548/veterinary3.2024.41.
50. Лясота В. П., Богатко Н. М., Букалова Н. В., Богатко А. Ф., Мазур Т. Г., Хіцька О. А., Джміль В. І., Ткачук С. А., Приліпко Т. М., Бартків Л. Г., Болоховська В. А. Безпечність та якість продукції свинарства за застосування комплексних дезінфектантів. *Науковий вісник ветеринарної медицини*. 2025. № 1. С. 19–35. DOI: 10.33245/2310-4902-2025-196-1-19-35.
51. Про ветеринарну медицину та благополуччя тварин : Закон України від 04.02.2021 № 1206-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1206-20#Text
52. Савченюк М., Шубара О., Шевченко М., Пантелеєнко О., Уховський В., Корнієнко Л., Білик С., Довгаль О., Царенко Т. Порівняльне епізоотологічне дослідження поширення африканської чуми свиней в Україні та деяких країнах Східної Європи. *Науковий вісник ветеринарної медицини*. 2024. № 1. С. 49–59. DOI: 10.33245/2310-4902-2024-188-1-49-59.

UDC 636.4.09:614.48

Mykola Balta,
PhD student
Department of Infectious Pathology, Biosafety, and Veterinary and Sanitary Inspection named after Professor V. Ya. Atamasiy Odesa State Agrarian University, Odesa, Ukraine
ORCID ID: 0009-0001-7703-1812
e-mail: baltanikolay@gmail.com
Kateryna Rodionova,
Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Infectious Pathology, Biosafety, and Veterinary and Sanitary Inspection named after Professor V. Ya. Atamasiy Odesa State Agrarian University, Odesa, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-7245-4525
e-mail: katerina.rodionova@ukr.net

BIOSECURITY AND DISINFECTION AS THE FOUNDATION OF A PREVENTIVE VETERINARY MANAGEMENT MODEL IN PIG PRODUCTION

Abstract.

Pig farming is recognized as one of the most important sectors of animal husbandry, yet it is currently subjected to simultaneous epizootic, pharmacological, and regulatory pressures. Among the most serious challenges are African swine fever, the spread of antimicrobial resistance, and the introduction of new veterinary legislation harmonized with European standards. In this study, the role of comprehensive biosecurity and effective disinfection was theoretically justified as the basis of a preventive veterinary management model in pig production. Systemic, comparative legal, bibliographic, and analytical methods were applied, and current approaches to the prevention of infectious diseases in pig farms were summarized. It was established that a transition from reactive treatment to preventive herd health management is the most effective and economically justified strategy for sectoral development. It was shown that disease-agent introduction and spread are reduced by biosecurity and disinfection, antibiotic therapy requirements are limited, and compliance with modern requirements for animal health and production safety is supported. It was also substantiated that disinfectant selection should be based on antimicrobial spectrum, resistance to

organic load, safety for animals and personnel, and technological and economic feasibility. In addition, the proposed preventive approach is aligned with the One Health concept, through which animal health, production efficiency, and public health protection are integrated into a single management framework. Practical benefits are also expected from the adoption of such measures, since they may contribute to lower treatment costs, improved herd stability, and more sustainable production outcomes. The practical value of the study lies in the potential use of its results for the development of industry biosecurity protocols, cleaning and disinfection programs, and disease prevention systems for pig farms. The findings confirm that a preventive model based on biosecurity is a key instrument for improving the resilience, competitiveness, and biological safety of pig farming under contemporary conditions.

Keywords: *African swine fever, antimicrobial resistance, animal welfare, One Health, HACCP, epizootic monitoring, risk-based approach.*

References

1. Abworo, E. O. (2023). *Strengthen biosecurity for the control of ASF along the value chain – Scavenging for food and use of food waste*. World Organisation for Animal Health. https://rr-africa.woah.org/app/uploads/2023/08/26-sector-3-scavenging-for-food-and-use-of-food-waste-okoth.pdf
2. Ahmed, S. K., Hussein, S., Qurbani, K., Ibrahim, R. H., Fareeq, A., Mahmood, K. A., & Mohamed, M. G. (2024). Antimicrobial resistance: Impacts, challenges, and future prospects. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health, 2*, 100081. https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100081
3. Alarcón, L. V., Alberto, A. A., & Mateu, E. (2021). Biosecurity in pig farms: A review. *Porcine Health Management, 7*, 5. https://doi.org/10.1186/s40813-020-00181-z
4. Albernaz-Gonçalves, R., Olmos Antillón, G., & Hötzel, M. J. (2022). Linking animal welfare and antibiotic use in pig farming – A review. *Animals, 12*(2), 216. https://doi.org/10.3390/ani12020216
5. Alonso, C., Borca, M., Dixon, L., Revilla, Y., Rodriguez, F., Escribano, J. M., & ICTV Report Consortium. (2018). ICTV virus taxonomy profile: Asfarviridae. *Journal of General Virology, 99*(5), 613–614. https://doi.org/10.1099/jgv.0.001049
6. Artasensi, A., Mazzotta, S., & Fumagalli, L. (2021). Back to basics: Choosing the appropriate surface disinfectant. *Antibiotics, 10*(6), 613. https://doi.org/10.3390/antibiotics10060613
7. Beechinor, J. G. (2022). Veterinary antibiotic availability: What the future holds. *Veterinary Ireland Journal, 12*(8), 444–446. https://www.veterinaryirelandjournal.com/images/2022/august2022/pdfs/focus1_august_2022.pdf
8. Blome, S., Gabriel, C., & Beer, M. (2013). Pathogenesis of African swine fever in domestic pigs and European wild boar. *Virus Research, 173*(1), 122–130. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2012.10.026
9. Bora, M., Bora, D. P., Manu, M., Barman, N. N., Dutta, L. J., Kumar, P. P., Poovathikkal, S., Suresh, K. P., & Nimmanapalli, R. (2020). Assessment of risk factors of African swine fever in India: Perspectives on future outbreaks and control strategies. *Pathogens, 9*(12), 1044. https://doi.org/10.3390/pathogens9121044
10. Boyce, J. M. (2023). Quaternary ammonium disinfectants and antiseptics: Tolerance, resistance and potential impact on antibiotic resistance. *Antimicrobial Resistance & Infection Control, 12*(1), 32. https://doi.org/10.1186/s13756-023-01241-z
11. Brown, E., Dhanireddy, K., Teska, P., Eifert, J., Williams, R. C., & Boyer, R. (2020). Influence of drying time on prewetted disinfectant towelettes to disinfect glass surfaces. *American Journal of Infection Control, 48*(7), 846–848. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2019.11.006
12. Centers for Disease Control and Prevention. (2021). *Chemical disinfectants*. https://www.cdc.gov/infection-control/hcp/disinfection-sterilization/chemical-disinfectants.html

13. Chenais, E., Boqvist, S., Sternberg-Lewerin, S., Emanuelson, U., Ouma, E., Dione, M., Aliro, T., Crafoord, F., Masembe, C., & Ståhl, K. (2017). Knowledge, attitudes and practices related to African swine fever within smallholder pig production in Northern Uganda. *Transboundary and Emerging Diseases, 64*(1), 101–115. https://doi.org/10.1111/tbed.12347
14. Dimuccio, M. M., Conforti, V., Celentano, F. E., Circella, E., Salvaggiulo, A., Bozzo, G., & Corrente, M. (2026). Regulation of antibiotic use in livestock: European and international strategies to prevent and control antimicrobial resistance and ensure animal welfare. *Antibiotics, 15*(1), 67. https://doi.org/10.3390/antibiotics15010067
15. Dixon, L. K., Stahl, K., Jori, F., Vial, L., & Pfeiffer, D. U. (2020). African swine fever epidemiology and control. *Annual Review of Animal Biosciences, 8*, 221–246. https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083741
16. European Medicines Agency. (2019). *Categorisation of antibiotics in the European Union: Answer to the request from the European Commission for updating the scientific advice on the impact on public health and animal health of the use of antibiotics in animals*. https://www.ema.europa.eu/en/news/categorisation-antibiotics-used-animals-promotes-responsible-use-protect-public-and-animal-health
17. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *World food and agriculture – Statistical yearbook 2024*. https://doi.org/10.4060/cd2971en
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Organisation for Animal Health, & World Bank. (2010). *Good practices for biosecurity in the pig sector – Issues and options in developing and transition countries (FAO Animal Production and Health Paper No. 169)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/i1435e/i1435e00.pdf
19. Fournier, P.-E., Vallenet, D., Barbe, V., Audic, S., Ogata, H., Poirel, L., Richet, H., Robert, C., Mangenot, S., & Abergel, C. (2006). Comparative genomics of multidrug resistance in Acinetobacter baumannii. *PLOS Genetics, 2*(1), e7. https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0020007
20. Friedrich-Loeffler-Institut. (2019). *African swine fever – Between the poles of textbook, history and current situation*. https://food.ec.europa.eu/system/files/2019-02/ad_control-measures_asf_between-the-poles-of-textbook-pres09.pdf
21. Gallandat, K., Wolfe, M. K., & Lantagne, D. (2017). Surface cleaning and disinfection: Efficacy assessment of four chlorine types using Escherichia coli and the Ebola surrogate Phi6. *Environmental Science & Technology, 51*(8), 4624–4631. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06014
22. Littmann, J., & Viens, A. M. (2015). The ethical significance of antimicrobial resistance. *Public Health Ethics, 8*(3), 209–224. https://doi.org/10.1093/phe/phv025
23. Makovska, I., Chantziaras, I., Caekebeke, N., Dhaka, P., & Dewulf, J. (2024). Assessment of cleaning and disinfection practices on pig farms across ten European countries. *Animals, 14*(4), 593. https://doi.org/10.3390/ani14040593
24. Mason-D'Croz, D., Bogard, J. R., Herrero, M., Robinson, S., Sulser, T. B., Wiebe, K., Willenbockel, D., & Rosegrant, M. W. (2020). Modelling the global economic consequences of a major African swine fever outbreak in China. *Nature Food, 1*(4), 221–228. https://doi.org/10.1038/s43016-020-0057-2
25. Muñoz-Gómez, V., Solodiankin, O., Rudova, N., Gerilovych, A., Nychyk, S., Hudz, N., Ukhovska, T., Sytiuk, M., Polischuk, V., Mustra, D., De Nardi, M., Lechner, I., & Schuppers, M. (2021). Supporting control programs on African swine fever in Ukraine through a knowledge, attitudes, and practices survey targeting backyard farmers. *Veterinary Medicine and Science, 7*(5), 1786–1799. https://doi.org/10.1002/vms3.578
26. Niemi, J. K. (2020). Impacts of African swine fever on pigmeat markets in Europe. *Frontiers in Veterinary Science, 7*, 634. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00634
27. World Organisation for Animal Health. (2019). *Critically important antimicrobial agents for veterinary medicine*. https://www.woah.org/app/uploads/2021/06/a-oie-list-antimicrobials-june2021.pdf

28. Omelchenko, H., Avramenko, N. O., Petrenko, M. O., Wojciechowski, J., Pejsak, Z., & Woźniakowski, G. (2022). Ten years of African swine fever in Ukraine: An endemic form of the disease in the wild boar population as a threat to domestic pig production. *Pathogens, 11*(12), 1459. https://doi.org/10.3390/pathogens11121459
29. Paliy, A. P., Kovalenko, L. V., Rodionova, K. O., Pavlichenko, O. V., Khimych, M. S., & Balta, M. P. (2024). Pathomorphological changes in laboratory animals exposed to lethal doses of disinfectants. *Regulatory Mechanisms in Biosystems, 15*(1), 107–112. https://doi.org/10.15421/022416
30. Penrith, M. L. (2020). Current status of African swine fever. *CABI Agriculture and Bioscience, 1*, 11. https://doi.org/10.1186/s43170-020-00011-w
31. Pietschmann, J., Guinat, C., Beer, M., Pronin, V., Tauscher, K., Petrov, A., Keil, G., & Blome, S. (2015). Course and transmission characteristics of oral low-dose infection of domestic pigs and European wild boar with a Caucasian African swine fever virus isolate. *Archives of Virology, 160*(7), 1657–1667. https://doi.org/10.1007/s00705-015-2430-2
32. Regulation (EU) 2019/4 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the manufacture, placing on the market and use of medicated feed. (2019). *Official Journal of the European Union, L 4*, 1–23. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/4/oj/eng
33. Regulation (EU) 2019/6 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on veterinary medicinal products and repealing Directive 2001/82/EC. (2019). *Official Journal of the European Union, L 4*, 43–167. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/6/oj/eng
34. Rigueira, L. L., & Perecmanis, S. (2024). Concerns about the use of antimicrobials in swine herds and alternative trends. *Translational Animal Science, 8*, txae039. https://doi.org/10.1093/tas/txae039
35. Rutala, W. A., & Weber, D. J. (2016). Monitoring and improving the effectiveness of surface cleaning and disinfection. *American Journal of Infection Control, 44*(5), e69–e76. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2015.10.039
36. Scollo, A., Perrucci, A., Stella, M. C., Ferrari, P., Robino, P., & Nebbia, P. (2023). Biosecurity and hygiene procedures in pig farms: Effects of a tailor-made approach as monitored by environmental samples. *Animals, 13*(7), 1262. https://doi.org/10.3390/ani13071262
37. Stull, J., Bjorvik, E., Bub, J., Dvorak, G., Petersen, C., & Troyer, H. (2018). 2018 AAHA infection control, prevention, and biosecurity guidelines. *Journal of the American Animal Hospital Association, 54*(6), 297–326. https://doi.org/10.5326/JAAHA-MS-6903
38. Van Boeckel, T. P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Robinson, T. P., & Laxminarayan, R. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 112*(18), 5649–5654. https://doi.org/10.1073/pnas.1503141112
39. World Economic Forum. (2025, November). *Are we acting fast enough on antimicrobial resistance?* https://www.weforum.org/stories/2025/11/antimicrobial-resistance-superbugs-antibiotics/
40. World Health Organization. (2024, August 20). *Deaths due to AMR estimated to reach 10 million people by 2050, Ministry of Health and WHO launch national strategy*. https://www.who.int/indonesia/news/detail/20-08-2024-deaths-due-to-amr-estimated-to-reach-10-million-people-by-2050--ministry-of-health-and-who-launch-national-strategy
41. World Health Organization. (2017). *Guidelines on use of medically important antimicrobials in food-producing animals*. https://www.who.int/publications/i/item/9789241550130
42. World Health Organization. (2019). *No time to wait: Securing the future from drug-resistant infections – Report to the Secretary-General of the United Nations*. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/no-time-to-wait-securing-the-future-from-drug-resistant-infections-en.pdf
43. World Health Organization. (2015). *Global action plan on antimicrobial resistance*. https://www.who.int/publications/i/item/9789241509763

44. World Organisation for Animal Health. (2022). *Strategy on antimicrobial resistance and prudent use of antimicrobials*. https://www.woah.org/app/uploads/2021/03/en-amr-strategy-2022-final-single-pages.pdf
45. Xu, B., Zhou, L., Qiu, C., Li, Y., & Zhang, W. (2021). What determines pig farmers' epidemic coping behaviors: A qualitative analysis of endemically infected areas in relation to African swine fever. *Veterinary Sciences, 8*(11), 266. https://doi.org/10.3390/vetsci8110266
46. Xu, G., Sarkar, A., Qian, L., Zhang, S., Rahman, A., & Tan, Y. (2022). The impact of the epidemic experience on the recovery of production of pig farmers after the outbreak – Evidence from the impact of African swine fever in Chinese pig farming. *Preventive Veterinary Medicine, 199*, 105568. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2022.105568
47. Zani, L., Depner, K., Dietze, K., & Globig, A. (2019). *Preventing transmission of ASF between domestic pigs and wild boar*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/reu/europe/documents/events2019/ASF_reg/20_.pdf
48. Zhu, Y.-G., Johnson, T. A., Su, J.-Q., Qiao, M., Guo, G.-X., Stedtfeld, R. D., Hashsham, S. A., & Tiedje, J. M. (2013). Diverse and abundant antibiotic resistance genes in Chinese swine farms. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 110*(9), 3435–3440. https://doi.org/10.1073/pnas.1222743110
49. Verzhykhovskyi, O., & Nedosiekov, V. (2024). Kliuchovi aspekty biobezpeky v suchasnomu tvarynnytstvi [Key aspects of biosecurity in modern animal husbandry]. *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences, 15*(3), 41–54. https://doi.org/10.31548/veterinary3.2024.41
50. Liasota, V. P., Bohatko, N. M., Bukalova, N. V., Bohatko, A. F., Mazur, T. H., Khitska, O. A., Dzhmil, V. I., Tkachuk, S. A., Prylipko, T. M., Bartkiv, L. H., & Bolokhovska, V. A. (2025). Bezpechnist ta yakist produktsii svynarstva za zastosuvannia kompleksnykh dezinfektantiv [Safety and quality of pig products when using complex disinfectants]. *Naukovyi Visnyk Veterynarnoi Medytsyny, 1*, 19–35. https://doi.org/10.33245/2310-4902-2025-196-1-19-35
51. Verkhovna Rada of Ukraine. (2021, February 4). *Law of Ukraine No. 1206-IX: On veterinary medicine and animal welfare*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1206-20#Text
52. Savcheniuk, M., Shubara, O., Shevchenko, M., Panteleienko, O., Ukhovskyi, V., Korniienko, L., Bilyk, S., Dovhal, O., & Tsarenko, T. (2024). Porivnialne epizootolohichne doslidzhennia poshyrennia afrykanskoi chumy svynei v Ukraini ta deiakykh krainakh Skhidnoi Yevropy [Comparative epizootiological study of the spread of African swine fever in Ukraine and selected Eastern European countries]. *Naukovyi Visnyk Veterynarnoi Medytsyny, 1*, 49–59. https://doi.org/10.33245/2310-4902-2024-188-1-49-59

Стаття надійшла до редакції 03.07.2026
Стаття пройшла рецензування 13.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

УДК 619:616.941:616-006:636.8
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.02

Олександр Боднар,
кандидат біологічних наук, доцент, асистент кафедри
ветеринарного акушерства, внутрішньої патології та хірургії
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID ID: 0000-0001-6161-6835
e-mail:bodnar.vetdoc@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ТКАНИННОГО ПРЕПАРАТУ З ВИДАЛЕНИХ ПУХЛИН У КОМПЛЕКСНІЙ ТЕРАПІЇ СУК З ПУХЛИНАМИ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ

Анотація

Пухлини молочної залози є найбільш поширених новоутворень у собак та є частою причиною смерті сук. Ще до недавно рак розглядався виключно як хірургічне захворювання, проте часті невдачі оперативного лікування пухлин певної локалізації та стадій бластомонозного процесу, викликало необхідність пошуку нових методів терапії. Метою дослідження було науково обґрунтувати та розробити оптимальні схеми застосування тканинної протипухлинної вакцини при новоутвореннях молочної залози у сук. Встановлено, що пухлини молочної залози у сук складають більше 50% від усіх неоплазій у собак, а частота їх злоякісного прояву зростає з віком тварин. З'ясовані клінічні особливості бластомогенезу на різних стадіях доброякісних пухлин та запального раку молочної залози. Об'єктом досліджень були суки з доброякісними пухлинами молочної залози (Т2, Т3), з яких сформували дві дослідні групи. За результатами клінічного експерименту становлено, що застосування протипухлинної вакцини в середньому на 3,2 доби прискорило термін загоєння операційної рани, сприяло профілактиці післяопераційних ускладнень та рецидивуванню бластомонозного процесу. Запропонована комплексна схема оперативно-консервативного лікування собак з пухлинами молочної залози збільшує стійкість організму до бластомонозного процесу, стимулює регенеративні процеси та сприяє більш сприятливому перебігу післяопераційного періоду. Отримані дані можуть бути використані для подальшого вивчення природи новоутворень у собак, розробки нових методів їх лікування та профілактики.

Ключові слова: *пухлина, собака, молочна залоза, вакцина, імунотерапія, рецидив.*

Вступ. Рак являє собою значну проблему для охорони здоров'я людини в усьому світі, оскільки щорічно в світі виявляють біля 20 мільйонів нових випадків захворювання та 9,7 мільйона смертей [1, 2]. У собак щорічно виявляють 4 мільйони нових випадків онкозахворювань, серед яких найбільш частими є пухлини молочної залози. Вони становлять до 70% від усіх форм новоутворень і є основною причиною смерті собак старше 10 років [3-5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні методи лікування новоутворень базуються на комплексному застосуванні різноманітних оперативних та консервативних методів, проте незважаючи на значні успіхи, кардинальних змін у ефективності лікування пухлин ще не досягнуто. Хірургічне

видалення залишається основним методом лікування новоутворень молочної залози у сук, але воно не завжди ефективне в плані виживання, а на пізніх стадіях захворювання може лише тимчасово покращити якість життя пацієнта [6 - 8]. Це спонукало до пошуку нових методів та способів лікування, та створення різноманітних підрозділів онкологічної науки. Проте такі поширені в медицині консервативні методи лікування раку, як хіміотерапія та променева терапія у зв'язку з частими ускладненнями у ветеринарній медицині мають певні обмеження. Великі надії пов'язують з розвитком методів імунотерапії, з яких найбільш перспективний напрямок - створення протипухлинних вакцин. Останні досягнення імунотерапії пухлин, поява та широке впровадження вакцин проти раку стимулюють розвиток цього методу лікування [9-11].

Застосування імунологічних методів впливу на організм, таких як інгібітори імунних контрольних точок, адаптивна клітинна терапія та вакцини проти раку, виявилися перспективним підходом до використання імунної системи хазяїна проти новоутворень. Новітні імунотерапевтичні методи боротьби з раком направлені на активацію факторів протипухлинного захисту, а також одночасно порушують імунорегуляторні ланцюги, що сприяють толерантності пухлини. Протиракові вакцини ініціюють динамічний процес активації системи захисту організму (в першу чергу Т-ланки імунітету) на ширший спектр пухлинних антигенів для відновлення рівноваги між пухлинними клітинами та хазяїном [12, 13]. Вакцинотерапія раку може стати важливим напрямком у лікуванні пухлинної хвороби на ранніх стадіях, а також потенційно оптимізуючи ефективність комбінованих терапій, та як профілактичний засіб їх рецидування та метастазування [14-16].

Метою дослідження було розробити оптимальні схеми застосування тканинної протипухлинної вакцини при новоутвореннях молочної залози у сук.

Виклад основного матеріалу дослідження. Клініко-експериментальні дослідження проводилися на базі кафедри ветеринарного акушерства, внутрішньої патології та хірургії Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» та у закладах ветеринарної медицини в регіоні м. Кам'янець-Подільський. Нами був проведений вибірковий аналіз онкологічних захворювань у собак в регіоні м. Кам'янець-Подільський, встановлено певну закономірність поширення неоплазій у собак: органна локалізація, залежність від віку, породи, статі, кастрації тощо. Матеріалом клінічних досліджень були суки різного віку та породи з бластомонозними процесами у молочній залозі на різних стадіях розвитку. Комплексне лікування включало хірургічне видалення пухлин, імунотерапію, симптоматичне лікування.

Установлено, що рак молочної залози у самок становив більше 50% від всіх зареєстрованих випадків пухлиноносійства у собак, що підтверджується іншими сповіщеннями [17, 18]. Собак з раком молочної залози визначали згідно з 4-х стадійною модифікованою системою TNM Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) (Т - розмір пухлини; N - ураження лімфатичних вузлів; М - віддалені метастази) [19]. Спонтанні пухлини молочної залози на ранніх стадіях

(T1, N2) звично виявлялися випадково власниками або ветеринарами під час планового обстеження клінічно здорових тварин. У них були відсутні ознаки запалення молочних залоз та збільшення регіонарних лімфатичних вузлів, клінічні показники були в межах фізіологічної норми (рис. 1). Доброякісні пухлини молочної залози були овальної чи круглої форми, мали гладку поверхню та чіткі контури, не втрачали рухливість відносно оточуючих тканин навіть за великих розмірів (T3, T4), не порушували структуру навколишніх тканин. Часто власники тварин не зверталися за допомогою, незважаючи на значні розміри пухлин, мотивуючи це відсутністю симптомів хвороби та погіршення загального стану, надією на можливу регресією новоутворення тощо. (рис. 2).

При пальпації доброякісних новоутворень вони були не болючі чи малоболючі, щільної або м'якої консистенції, деякі містили вузли чи навпаки – кісти. В одному з випадків у суки була видалена осифікована пухлина розміром 40х30 мм.

Запальний рак молочної залози у сук супроводжувався симптомами запалення, некрозу, виразкуванням, абсцедуванням та утворенням нориць, ексудацією з неприємним запахом (рис. 3, 4). Часто він імітував симптоми маститу: прогресуючий болючий набряк, почервоніння, поява ексудату при надавлювані соска. Відмічали зниження апетиту, втрату ваги, зміну поведінки, пригнічення, проте місцева та загальна протимаститна терапія виявлялася неефективною.



Рис. 1. Множинне пухлинне ураження (T1) каудальної черевної (V) залози, (рисунок автора).



Рис. 2. Пухлинне ураження (Т4) каудальної (II) грудної залози (рисунок автора).



Рис.3. Запальний рак молочної залози (Т4N1M1) (рисунок автора).



Рис. 4. Виразкування та утворення нориці (Т4) краніальної та каудальної (I, II) грудної залози (рисунок автора).

При розробці комплексних схем лікування сук з пухлини молочної залози ми керувалися принципами:

- будь-яке новоутворення слід розцінювати як пухлинну хворобу;
- пухлина і організм є одне ціле, тому, ліквідуючи новоутворення, ми здійснюємо вплив на весь організм;
- лікувальні заходи повинні бути адекватними, комплексними та послідовними, проводитися із урахуванням типу і стадії бластомогенезу, а також індивідуальних особливостей пацієнта.

Для проведення клінічного експерименту було сформовані дві групи собак по 20 в кожній, у яких діагностували доброякісні пухлини молочної залози (Т2, Т3). Розроблений комплекс лікувально-профілактичних заходів складався з:

а) передопераційної підготовки;
б) оперативного втручання;
в) післяопераційного лікування;
г) протирецидивної терапії.

Хворим самкам обидвох груп було проведено радикальне оперативне видалення пухлин в межах здорових тканин з дотриманням вимог абластики та антибластики [6-8, 20]. Передопераційну підготовку та анестезіологічний супровід мастектомії у собак обидвох груп проводили за загальноприйнятими методиками. Консервативна терапія в до- та післяопераційний період включала застосування симптоматичних (кардіологічні, гепатопротектори, протизапальні, анальгетики, антибіотики), полівітамінів, дієтотерапії, а також лікування супутніх захворювань. З метою імуномодуляції, запобігання рецидиву та утворення метастазів собакам другої дослідної групи додатково застосували підшкірні ін’єкції протипухлинної вакцини в дозі 1,5-2 мл на 10 кг ж. м. тіла за схемою: однократно за 5-7 днів до оперативного втручання та двічі з інтервалом 5 діб після мастектомії [21].

Вакцина була приготовлена із видалених пухлин молочної залози сук за методикою Подільського державного аграрно-технічного університету (нині ЗВО «ПДУ»). Технологія її виготовлення включає механічний, фізичний та хімічний вплив на тканинні елементи. Препарат готовий вже через 2 доби після видалення новоутворення та має тривалий термін зберігання; його застосовуємо як аутовакцину, так і як ізовакцину [22].

Аналіз результатів проведених клініко-експериментальних досліджень (табл. 1) показав їх високу лікувально-профілактичну ефективність: доповнення вакцинотерапією комбінованого оперативно-консервативного лікування пухлин молочної залози в середньому на 3,2 доби прискорило термін загоєння операційної рани, сприяло профілактиці післяопераційних ускладнень та рецидивуванню бластомонозного процесу. Запропонована імунотерапія сприяла більш сприятливому перебігу післяопераційного періоду: швидше згасали ознаки запалення (зменшувався набряк та припинялася ексудація), прискорювалося рубцювання. Загоювання рани супроводжувалося меншою больовою реакцією та свербежем, тварини менше зализували рану, швидше набирали живу масу, у них вдвічі менше реєстрували розходження швів.

Таблиця 1

Ефективність оперативно-консервативного лікування пухлин молочної залози

Групи тварин	Показники			
	Термін загоєння рани (зняття швів), доба	Післяопераційні ускладнення (розходження швів, серома), %	Рецидивувало, %	
			до 6 міс.	до 12 міс.
1 n=20	20,6	40	10	30
2 n=20 (вакцинотерапія)	17,4	20	-	10
Різниця	3,2	10	10	20

Таким чином, запропонована нами схема імунотерапії сук з доброякісними пухлинами молочної залози збільшує стійкість організму до бластоматозного процесу, ефективно профілактує рецидиви захворюваня, стимулює регенеративні процеси та прискорює нормалізацію гомеостазу організму прооперованих тварин.

Як свідчить аналіз останніх повідомлень, на сьогодні накопичений великий практичний матеріал, що підтверджує ефективність застосування протипухлинних вакцин при онкологічних захворюваннях у людей і тварин. Останні відрізняються від інших протипухлинних засобів тим, що вони індукують динамічний процес активації імунної системи, одночасно порушуючи

імунорегуляторні механізми, що сприяють толерантності пухлини [10, 23, 24]. Крім того, відомо, що поєднання терапевтичних вакцин проти раку з традиційними консервативними методами, такими як променева терапія, гормональна та хіміотерапія, може мати синергетичний ефект [25].

Нині спостерігається підвищений інтерес до імунізації онкохворих вакцинами, виготовленими із компонентів власних видалених пухлин. Вакцини на основі пухлинних клітин отримують шляхом дії на них опромінення, заморожування-розморожування, гіпертермії, гіпотермії та гіпохлорнуватистої кислоти, формаліну, фенолу тощо, які по-різному впливають на імуногенність вакцини [22, 26].

Таким чином, можна констатувати, що імунотерапія в сучасній онкології стала перспективним підходом до використання імунної системи хазяїна проти злоякісних новоутворень. Застосування терапевтичних протиракових вакцин як постконтактних методів лікування, обґрунтоване індукцією потужної клітинної імунної відповіді для знищення ракових клітин та встановлення тривалої імунної пам'яті для запобігання рецидивам [9, 27-29].

Проте, хоча протиракові вакцини мають потенціал для запобігання рецидивів та метастазів, вони часто не знищують злоякісні пухлини, якщо їх використовувати окремо. Тому науковці та практики рекомендують поєднувати імунотерапію з іншими методами лікування, включаючи хірургічне втручання, хіміотерапію, променеву терапію, моноклональні антитіла, низькомолекулярні інгібітори та ін. [30-32]. Дані положення нами були враховані при розробці комплексного (паліативно-хірургічного) лікування собак з пухлинами молочної залози.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Імунотерапія собак з пухлинами молочної залози тканинною вакциною, виготовленою за методикою ПДАТУ (ЗВО «ПДУ»), підвищує ефективність оперативно-консервативного лікування, сприяє профілактиці післяопераційних ускладнень та рецидивуванню новоутворень після їх радикального видалення.

Планується подальша розробка та клінічна перевірка нових комбінованих протоколів лікування та профілактики бластоматозних процесів у собак різної локалізації та стадій захворювання.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Bray F., Laversanne M., Sung H. et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J. Clin.* 2024;74(3):229 63. https://doi.org/10.3322/caac.21834.

2. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L, Laversanne M., Soerjomataram I., Jemal A., Bray F. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J. Clin.* 2021. Vol. 71. P. 209–249.

3. Schiffman J.D., Breen M. Comparative oncology: What dogs and other species can teach us about humans with cancer. *Philos. Trans. R. Soc. Biol. Sci.* 2015. Vol. 370. 20140231. doi: 10.1098/rstb.2014.0231.

4. Gardner H.L., Fenger J.M., London C.A. Dogs as a Model for Cancer. Annu. Rev. *Anim. Biosci.* 2016. Vol. 4. P. 199–222.

5. Davis B.W., Ostrander E.A. Domestic Dogs and Cancer Research: A Breed-Based Genomics Approach. *ILAR J.* 2014. Vol. 55. P. 59–68.

6. Sorenmo K., Worley D., Zappulli V. Tumors of the mammary gland. In: Vail D., Thamm D., Liptack J., editors. *Small animal clinical oncology. 6th ed. St. Louis,* MO: Elsevier; 2020. P. 604-25.

7. Horta R.S., Figueiredo M.S., Lavalle G.E., Costa M.P., Cunha R.M., Araujo R.B. Surgical stress and postoperative complications related to regional and radical mastectomy in dogs. *Acta Vet Scand.* 2015. Jun. 24;57(1):34.

8. Rueda Jr., Porto Cd., Franco Rp., da Costa Ib., Bueno Lmc., Girio Rjs., Manhoso Ffr., Bueno Pcs., Repetti Csf. Mammary neoplasms in female dogs: Clinical, diagnostic and therapeutic aspects. *Veterinarni Medicina.* 2024. Vol. 69 (4). P. 99-114. DOI: 10.17221/4/2024-VETMED

9. Zhang Y, Zhang Z. The history and advances in cancer immunotherapy: understanding the characteristics of tumor-infiltrating immune cells and their therapeutic implications. *Cell Mol Immunol.* 2020;17(8):807–21. https://doi.org/10.1038/s41423-020-0488-6.

10. Zhou Y., Wei Y., Tian X. et al. Cancer vaccines: current status and future directions. *J. Hematol. Oncol.* 18, 18 (2025). https://doi.org/10.1186/s13045-025-01670-w

11. Yaddanapudi K., Mitchell R. A., Eaton J. W. Cancer vaccines. Looking to the future. *OncoImmunology.* 2013. Vol. 2(3). https://doi.org/10.4161/onci.23403

12. Oladejo M., Paulishak W., Wood L. Synergistic potential of immune checkpoint inhibitors and therapeutic cancer vaccines. *Semin Cancer Biol.* 2023;88:81–95. https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2022.12.003.

13. Lin M.J., Svensson-Arvelund J., Lubitz G.S. et al. Cancer vaccines: the next immunotherapy frontier. *Nat. Cancer.* 2022;3(8):911–26. https://doi.org/10.1038/s43018-022-00418-6

14. Боднар О.О., Боднар А.О. Досвід лікування сук з новоутвореннями молочної залози із застосуванням тканинного препарату з видалених пухлин. *Сучасні методи діагностики, лікування та профілактики у ветеринарній медицині:* тези доп., м. Львів, 29-30 лист. 2018 р. / Львів. нац. ун-т вет. мед. та біотехн. ім. С. З. Гжицького. Львів, 2018. С. 17-18.

15. Tosch C., Bastien B., Barraud L., et al. Viral based vaccine TG4010 induces broadening of specific immune response and improves outcome in advanced NSCLC. *J. Immunother. Cancer.* 2017;5(1):70. https://doi.org/10.1186/s40425-017-0274-x.

16. Lasser S.A., Ozbay Kurt F.G., Arkhypov I., Utikal J., Umansky V. Myeloid-derived suppressor cells in cancer and cancer therapy. *Nat. Rev. Clin. Oncol.* 2024;21(2):147–64. https://doi.org/10.1038/s41571-023-00846-y.

17. Vazquez E., Lipovka Y., Cervantes-Arias A., Garibay-Escobar A., Haby M.M., Queiroga F.L., Velazquez C. Canine Mammary Cancer: State of the Art and Future Perspectives. *Animals.* 2023. Vol. 13. P. 31-47. https://doi.org/10.3390/ani13193147

18. Mysak A.R., Pritsak V.V., Ivashkiv B.B. Mammary gland neoplasias in bitches (spreading, diagnosis, treatment methods). Topical issues of the development of veterinary medicine and breeding technologies: *Scientific monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing".* 2022. P. 73 - 132. ISBN 978-9934-26-203-6 https://doi.org/10.30525/978-9934-26-258-6-4

19. Rutteman G., Withrow SEGM. Tumors of the mammary gland. In: Withrow S.J., MacEwen E., editors. Small Animal Clinical Oncology. *3rd ed. Philadelphia, PA: WB Saunders* (2001). P. 455–77.

20. Cassali, G.D., Jark, P.C., Gamba et al. Consensus regarding the diagnosis, prognosis and treatment of canine and feline mammary tumors. *Braz. J. Vet. Pathol.* 2019. 13(3):555-74.
21. Патент 64 928 Україна, МПК A 61 P 35/00, A 61 Д 99/00. Спосіб імунотерапії пухлин / О.О.Боднар, М.М.Тихонов, А.О.Боднар; u 2011 04468; Заявл. 12.04.2011.- опубл.25.11.2011.- Бюл.№22.
22. Патент 64927 Україна, МПК A 61 K 35/12, A 61 P 35/00. Спосіб одержання протипухлинної вакцини / О.О.Боднар, А.О.Боднар, О.О.Боднар; u 2011 04467; Заявл. 12.04.2011.- опубл.25.11.2011.-Бюл.№22.
23. Yaddanapudi K., Mitchell R. A., Eaton J. W. Cancer vaccines Looking to the future. *OncoImmunology.* 2013. Vol. 2 (3), https://doi.org/10.4161/onci.23403
24. Lohmueller J., Finn O.J. Current modalities in cancer immunotherapy: immunomodulatory antibodies, CARs and vaccines. *Pharmacol Ther.* 2017. 178:31–47. 10.1016/j.pharmthera. 2017.03.008
25. Gatti-Mays M.E., Redman J. M., Collins J. M., Bilusic M. Cancer vaccines: Enhanced immunogenic modulation through therapeutic combinations. *Human Vaccines & Immunotherapeutics.* 2017. Vol. 13 (11), 25612574https://doi.org/10.1080/21645515.2017.1364322
26. Chiang C.L.L., Coukos G., Kandalaft L.E. Whole tumor antigen vaccines: where are we? *Vaccines.* 2015;3(2):344–72.
27. Oladejo M., Paulishak W., Wood L. Synergistic potential of immune checkpoint inhibitors and therapeutic cancer vaccines. *Seminars in Cancer Biology.* 2023;88:81–95. https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2022.12.003.
28. Lin M.J., Svensson-Arvelund J., Lubitz G.S., et al. Cancer vaccines: the next immunotherapy frontier. *Nat Cancer.* 2022;3(8):911–26. https://doi.org/10.1038/s43018-022-00418-6
29. Saxena M., van der Burg S.H., Melief C.J.M., Bhardwaj N. Therapeutic cancer vaccines. *Nat. Rev. Cancer.* 2021;21(6):360–78. https://doi.org/10.1038/s41568-021-00346-0.
30. Tosch C., Bastien B., Barraud L., et al. Viral based vaccine TG4010 induces broadening of specific immune response and improves outcome in advanced NSCLC. *J. Immunother. Cancer.* 2017;5(1):70. https://doi.org/10.1186/s40425-017-0274-x.
31. Ott P.A., Hu-Lieskovan S., Chmielowski B., et al. A Phase Ib trial of personalized neoantigen therapy plus anti-PD-1 in patients with advanced melanoma, non-small cell lung cancer, or bladder cancer. *Cell.* 2020;183(2):347-362.e24. https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.08.053.
32. Carreno B.M., Magrini V., Becker-Hapak M., et al. Cancer immunotherapy. A dendritic cell vaccine increases the breadth and diversity of melanoma neoantigen-specific T cells. *Science.* 2015;15,348(6236):803-8. https://doi.org/10.1126/science.aaa3828.

Oleksandr Bodnar
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Assistant at the Department of Veterinary Obstetrics,
Internal Pathology and Surgery,
Higher Educational Institution “Podillia State University”
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
ORCID: 0000-0001-6161-6835
e-mail : bodnar.vetdoc@gmail.com

USE OF TISSUE PREPARATION FROM REMOVED TUMORS IN COMPLEX THERAPY OF BITCHES WITH MAMMA TUMORS

Abstract

Mammary tumors are the most common neoplasms in dogs and are a frequent cause of death in bitches. Until recently, cancer was considered exclusively as a surgical disease, however, frequent failures of surgical treatment of tumors of a certain localization and stages of the blastomonosis process caused the need to search for new methods of therapy. The aim of the study was to scientifically substantiate and develop optimal schemes for the use of a tissue antitumor vaccine for mammary neoplasms in bitches. It was established that mammary tumors in bitches make up more than 50% of all neoplasms in dogs, and the frequency of their malignant manifestation increases with the age of the animals. The clinical features of blastomogenesis at different stages of benign tumors and inflammatory mammary cancer were clarified. The object of the research were bitches with benign mammary tumors (T2, T3), from which two experimental groups were formed. According to the results of the clinical experiment, it was established that the use of an antitumor vaccine accelerated the healing time of the surgical wound by an average of 3.2 days, contributed to the prevention of postoperative complications and recurrence of the blastomonosis process. The proposed complex scheme of surgical-conservative treatment of dogs with mammary tumors increases the body's resistance to the blastomonosis process, stimulates regenerative processes and contributes to a more favorable course of the postoperative period. The data obtained can be used for further study of the nature of neoplasms in dogs, development of new methods of their treatment and prevention.

Keywords: *tumor, dog, cancer, mammary gland, vaccine, immunotherapy, recurrence.*

Reference

1. Bray, F., Laversanne, M., Sung, H. et al. (2024). Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J. Clin.*, 74(3):229 63. https://doi.org/10.3322/caac.21834.

2. Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L, Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., Bray, F. (2021). Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J. Clin.,* 71. 209–249.

3. Schiffman, J.D., Breen, M. (2015). Comparative oncology: What dogs and other species can teach us about humans with cancer. *Philos. Trans. R. Soc. Biol. Sci.* 370. 20140231. doi: 10.1098/rstb.2014.0231.

4. Gardner, H.L., Fenger, J.M., London, C.A. (2016). Dogs as a Model for Cancer. Annu. Rev. *Anim. Biosci,* 4. 199–222.

5. Davis, B.W., Ostrander, E.A. (2014). Domestic Dogs and Cancer Research: A Breed-Based Genomics Approach. *ILAR J.*, 55. 59–68.

6. Sorenmo, K., Worley, D., Zappulli, V. (2020). Tumors of the mammary gland. In: Vail D., Thamm D., Liptack J., editors. *Small animal clinical oncology. 6th ed. St. Louis, MO: Elsevier;* 604-25.

7. Horta, R.S., Figueiredo, M.S., Lavalle, G.E., Costa, M.P., Cunha, R.M., Araujo, R.B. (2015). Surgical stress and postoperative complications related to regional and radical mastectomy in dogs. *Acta Vet Scand.,* 24;57(1):34.

8. Rueda, Jr., Porto, Cd., Franco, Rp., da Costa, Ib., Bueno, Lmc., Girio, Rjs., … Repetti Csf. (2024). Mammary neoplasms in female dogs: Clinical, diagnostic and therapeutic aspects. *Veterinarni Medicina.* 69(4), 99-114. DOI: 10.17221/4/2024-VETMED

9. Zhang, Y., Zhang, Z. (2020). The history and advances in cancer immunotherapy: understanding the characteristics of tumor-infiltrating immune cells and their therapeutic implications. *Cell Mol Immunol.,* 17(8):807–21. https://doi.org/10.1038/s41423-020-0488-6.

10. Zhou, Y., Wei, Y., Tian, X. et al. (2025). Cancer vaccines: current status and future directions. *J. Hematol. Oncol.* 18,18 https://doi.org/10.1186/s13045-025-01670-w.

11. Yaddanapudi, K., Mitchell, R. A., Eaton, J. W. (2013). Cancer vaccines. Looking to the future. *OncoImmunology,* 2(3). https://doi.org/10.4161/onci.23403

12. Oladejo, M., Paulishak, W., Wood, L. (2023). Synergistic potential of immune checkpoint inhibitors and therapeutic cancer vaccines. *Semin Cancer Biol.*, 88:81–95. https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2022.12.003.

13. Lin, M.J., Svensson-Arvelund, J., Lubitz. G.S. et al. (2022). Cancer vaccines: the next immunotherapy frontier. *Nat. Cancer,* 3(8), 911–26. https://doi.org/10.1038/s43018-022-00418-6

14. Bodnar O.O., Bodnar A.O. (2018). Dosvid likuvannia suk z novoutvorenniamy molochnoi zalozy iz zastosuvanniam tkanynnoho preparatu z vydalenykh pukhlyn. [Experience in treating bitches with mammary gland tumors using tissue preparations from removed tumors]. *Modern methods of diagnostics, treatment and prevention in veterinary medicine:* theses of the supplementary conference, Lviv, 29-30 Nov. 2018 / Lviv. Nat. Univ. of Vet. Med. and Biotechn. n. after S. Z. Gzhytsky. Lviv. 17-18. [in Ukrainian].

15. Tosch, C., Bastien, B., Barraud, L., et al. (2017). Viral based vaccine TG4010 induces broadening of specific immune response and improves outcome in advanced NSCLC. *J. Immunother. Cancer.*, 5(1), 70. https://doi.org/10.1186/s40425-017-0274-x.

16. Lasser, S.A., Ozbay Kurt, F.G., Arkhypov, I., Utikal, J., Umansky, V. (2024). Myeloid-derived suppressor cells in cancer and cancer therapy. *Nat. Rev. Clin. Oncol.,* 21(2), 147–64. https://doi.org/10.1038/s41571-023-00846-y.

17. Vazquez, E., Lipovka, Y., Cervantes-Arias, A., Garibay-Escobar. A., Haby, M.M., Queiroga, F.L., Velazquez, C. (2023). Canine Mammary Cancer: State of the Art and Future Perspectives. *Animals.*, 13, 31-47. https://doi.org/10.3390/ani13193147.

18. Mysak, A.R., Pritsak, V.V., Ivashkiv, B.B. (2022). Mammary gland neoplasias in bitches (spreading, diagnosis, treatment methods). *Topical issues of the development of veterinary medicine and breeding technologies: Scientific monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing"*. 73 - 132. ISBN 978-9934-26-203-6 https://doi.org/10.30525/978-9934-26-258-6-4

19. Rutteman, G., Withrow, SEGM. (2001). Tumors of the mammary gland. In: Withrow S.J., MacEwen E., editors. *Small Animal Clinical Oncology. 3rd ed. Philadelphia, PA: WB Saunders*. 455–77.

20. Cassali, G.D., Jark, P.C., Gamba, C., Damasceno, K.A., Estrela-Lima, A., De Nardi A.B., … Nakagak K.Y.R. (2019). Consensus regarding the diagnosis, prognosis and treatment of canine and feline mammary tumors. *Braz. J. Vet. Pathol.,* 13(3), 555-74.

21. Sposib imunoterapii pukhlyn: patent 64 928 Ukraina [Method of immunotherapy of tumors: patent 64 928 Ukraine], MPK A 61 R 35/00, A 61 D 99/00u 2011 04468; zaiavl. 12.04.2011; opubl.25.11.2011. Biul. №22. 3 s. [in Ukrainian].

22. Sposib oderzhannia protypukhlynnoi vaktsyny: patent 64927 Ukraina [Method of obtaining anti-tumor vaccine: patent 64927 Ukraine], MPK A 61 K 35/12, A 61 R 35/00. u 2011 04467; zaiavl. 12.04.2011; opubl. 25.11.2011. Biul. №22. 3 s. [in Ukrainian].

23. Yaddanapudi, K., Mitchell, R. A., Eaton, J. W. (2013). Cancer vaccines Looking to the future. *OncoImmunology,* 2(3), https://doi.org/10.4161/onci.23403.

24. Lohmueller, J., Finn O.J. (2017). Current modalities in cancer immunotherapy: immunomodulatory antibodies, CARs and vaccines. *Pharmacol Ther.,* 178, 31–47. 10.1016/j.pharmthera. 2017.03.008.

25. Gatti-Mays, M. E., Redman, J. M., Collins J. M., Bilusic, M. (2017). Cancer vaccines: Enhanced immunogenic modulation through therapeutic combinations. *Human Vaccines & Immunotherapeutics,* 13(11), 25612574https://doi.org/10.1080/21645515.2017.1364322.

26. Chiang, C.L.L., Coukos, G., Kandalaft, L.E. (2015). Whole tumor antigen vaccines: where are we? *Vaccines,* 3(2), 344–72.

27. Oladejo, M., Paulishak, W., Wood, L. (2023). Synergistic potential of immune checkpoint inhibitors and therapeutic cancer vaccines. *Seminars in Cancer Biology,* 88,81–95. https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2022.12.003.

28. Lin, M.J., Svensson-Arvelund, J., Lubitz, G.S., et al. (2022). Cancer vaccines: the next immunotherapy frontier. *Nat Cancer,* 3(8), 911–26. https://doi.org/10.1038/s43018-022-00418-6

29. Saxena, M., van der Burg, S. H., Melief, C .J. M., Bhardwaj, N. (2021). Therapeutic cancer vaccines. *Nat. Rev. Cancer,* 21(6), 360–78. https://doi.org/10.1038/s41568-021-00346-0.

30. Tosch, C., Bastien, B., Barraud, L., et al. (2017). Viral based vaccine TG4010 induces broadening of specific immune response and improves outcome in advanced NSCLC. *J. Immunother. Cancer,* 5(1), 70. https://doi.org/10.1186/s40425-017-0274-x.

31. Ott, P.A., Hu-Lieskovan, S., Chmielowski, B., et al. (2020). A Phase Ib trial of personalized neoantigen therapy plus anti-PD-1 in patients with advanced melanoma, non-small cell lung cancer, or bladder cancer. *Cell.*, 183(2), 347-362.e24. https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.08.053.

32. Carreno, B.M., Magrini, V., Becker-Hapak, M., et al. (2015). Cancer immunotherapy. A dendritic cell vaccine increases the breadth and diversity of melanoma neoantigen-specific T cells. *Science,* 15, 348(6236):803-8. https://doi.org/10.1126/science.aaa3828.

Стаття надійшла до редакції 07.07.2026
Стаття пройшла рецензування 18.07.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

УДК 619:611.71/.73:616-073.75:636.1
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.03

Андрій Лазоренко,
кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри ветеринарії та тваринництва
Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля,
м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-0916-3901
e-mail: lazorenkoandrej@gmail.com

Ірина Бондаренко,
кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри нормальної і патологічної морфології та судової ветеринарії
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна,
ORCID ID 0000-0002-1019-3446
e-mail: bondarenkoirina173@gmail.com

РЕНТГЕНОМОРФОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ АНАТОМІЇ КОПИТ КОНЕЙ ВЕРХОВИХ ТА РИСИСТИХ ПОРІД

Анотація

Рентгеноморфометричні параметри клінічно здорових коней мають істотну варіабельність залежно від маси тварини та породи, що потребує додаткового дослідження серед окремих порід для уникнення діагностичних помилок за оцінки кутових та морфологічних параметрів.

Метою досліджень було обґрунтувати та впровадити комплексну систему рентгеноморфометричної оцінки дистального відділу кінцівок коней верхових та рисистих порід для встановлення референтних анатомо-топографічних параметрів копитної кістки відносно рогового чохла та розробки критеріїв ранньої діагностики ортопедичного дисбалансу за ламініту. Виконання рентгенограм здійснювали із використанням мобільного рентгенівського апарату типу «Арман-10ЛУ», в наступному режимі: фокусна відстань 60 см, робоча напруга на рентгенівській трубці – 70-90 кВ, експозиція 6-10 мАс.

Рентгенівські знімки отримували із використанням рентгенівських касет із синьочутливим підсилюючим екраном СРВ розміром 24×30 см виробництва «Agfa, Бельгія» та плівок відповідного розміру «ОНІКО РП-У, Україна».

Обробку рентгенівських плівок проводили із використанням проявника G 150 «Agfa, Бельгія» та фіксажу G 354 «ОНІКО, Україна». Вивчення рентгенограм здійснювали із використанням однокадрового негатоскопу OSD-HD301, (OSD, Китай). Окрім плівкових рентгенограм, виконували й цифрову рентгенографію із використанням бездротової пласкопанельної DR-панелі (детектору) з технологією йодиду цезію (CsI), виробництва фірми «VetiPad M1», Китай.

Незважаючи на те, що дистальна фаланга коней і листочки копита є біомеханічно та фізіологічно інтегрованими, дислокаційні та структурні зміни дистальної фаланги недостатньо описані при ламініті. Тому рентгеноморфометричні дослідження дозволять оптимізувати схему класифікації ламініту, яка може бути застосована до широкого спектру ламінітних уражень.

За вихідні, референтні параметри нами було обрано морфометричні розрахунки рентгенограм копит передніх (n=18) та задніх (n=18) кінцівок коней, без ортопедичної патології верхових та рисистих порід різного віку та статі.

Отриманий цифровий матеріал оброблено методами варіаційної статистики із використанням параметричного критерію Стьюдента та дискримінантного аналізу.

Рентгеноморфометричні показники клінічно здорових коней верхових та рисистих порід мають чіткі порідні варіабельності з чітко визначеними референтними лімітами, які слід враховувати при проведенні рентгеноморфометричних розрахунків за аналізу просторових взаємовідносин між копитною капсулою та кістковими структурами пальця в умовах ортопедичної патології.

Морфометрична диференціація копит коней відбувається переважно за рахунок просторової геометрії кутів, а не зміни лінійних розмірів. Ключовими дискримінаційними ознаками грудних та тазових кінцівок є кутові характеристики, що відображають функціональну спеціалізацію: адаптацію грудних кінцівок до амортизації, а тазових - до локомоторного поштовху.

Перспективами подальших досліджень, є рентгеноморфометричні розрахунки ступеня порушення просторових взаємовідносин між копитною капсулою та кістковими структурами пальця при оцінці ламінітних уражень, медіо-латерального дисбалансу коней.

Ключові слова: *Рентгенодіагностика, анатомія копит коней, морфометрія, ламініт.*

Вступ. Ламініт є системною патологією з вираженим деструктивним проявом у дистальному відділі кінцівок коней. В основі патогенезу захворювання лежить деструкція листочкового шару - високоспеціалізованої фіброзно-епітеліальної структури, яка забезпечує механічне зчеплення та анатомічну фіксацію дистальної фаланги всередині копитної капсули [1,2]. Деградація дермо-епідермального комплексу призводить до втрати стабільності кістки, її ротації або дистального опускання під дією маси тіла тварини та натягу сухожилка глибокого пальцевого згинача [3,4]. Зазначені анатомічні зміни супроводжуються гострим больовим синдромом і часто спричиняють незворотну втрату локомоторної функції, що загрожує життю тварини [2-4].

Етіологія ламініту є багатофакторною і включає метаболічні, системні запальні, травматичні та судинні патогенетичні тригери.

Для верифікації просторового розташування дистальної фаланги відносно копитної капсули застосовують комплексну клініко-рентгенологічну діагностику. Радіографія є обов'язковим методом дослідження у кожному випадку з підозрою на ламініт, оскільки вона дозволяє об'єктивно оцінити цілісність рогового чохла, верифікувати факт та вектор зміщення кістки, а також виявити остеолітичні процеси у копитній кістці [5,6].

Цей метод є ключовим інструментом для визначення стадії патології, ступеня її хронізації, тяжкості перебігу та моніторингу прогресування процесу. Разом з тим, рентгенографія має певні діагностичні обмеження: вона не забезпечує прямої візуалізації стану пальцевого мікроциркуляторного русла та периваскулярних тканин дистальної фаланги [6,7]. Крім того, тривалий час клінічним стандартом вважалося виконання латеро-медіальної (бокової) проекції. Проте, зважаючи на складний об'ємний характер морфологічних деформацій при ламініті, які включають капсульну ротацію, ротацію кістки, її

асиметричне заглиблення, а також медіо-латеральний дисбаланс, ізольована візуальна оцінка рентгенограм є недостатньою [4,5]. Для повноцінного документування просторових архітектонічних порушень дистального відділу пальця доцільно впроваджувати математичні розрахунки рентгеноморфометричних показників.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Рентгеноморфометричний аналіз дистального відділу кінцівок коней є фундаментальним інструментом у сучасній ветеринарній ортопедії. Об’єктивна кількісна оцінка просторових взаємовідносин між копитною капсулою та кістковими структурами пальця дозволяє не лише діагностувати субклінічні патології, а й прогнозувати перебіг важких ортопедичних захворювань [8].

Рентгенологічні дослідження копит коней вважаються основними діагностичними методами візуалізації при оцінці стану коней з ламінітом. Знання референтних анатомічних показників породи дозволяє оцінити ступінь та тяжкість радіологічних змін, пов'язаних з ламінітом [9].

Стандартизованою основою при проведенні рентгенологічного дослідження є виконання латеро-медіальних та дорсо-пальмарних рентгенограм із обов'язковим застосуванням рентгеноконтрастних маркерів з детальним описом ключових морфометричних констант, таких як дистанція від розгинального відростку копитної кістки до вінчика, кут зачепного кінця копитної кістки з грунтом та товщина дорсальної стінки, які досі використовуються як визнані клінічні орієнтири [10].

Дослідження інших авторів, доповнило цю базу біомеханічним обґрунтуванням, продемонструвавши безпосередній зв'язок між порушенням паралельності дорсальної стінки копита і третьої фаланги та перевантаженням сухожилкового-зв’язкового апарату [3].

Зазначені параметри морфометричних промірів є змінними та можуть залежати від індивідуальних відмінностей, включаючи породу або розмір коня [10,11].

Сучасні останні дослідження спрямовані на встановлення референтних значень для різних порід, оскільки універсальний підхід часто призводить до помилкової діагностики.

Отже, для проведення рентгеноморфометричних вимірів величин щодо кутів та положення дистальної фаланги, необхідно орієнтуватись на певні анатомічні референтні значення клінічно здорових коней в межах окремих порід. Попередні дослідження проводилися на різних породах коней, таких як чистокровні [12], ганноверські [13], арабські [8,12] та поні [13].

Дослідженнями встановлено стійку позитивну кореляцію між більшістю лінійних вимірів копита та висотою тварини в холці, які доводять, що копита поні є відносно більшими порівняно з масою тіла, ніж у чистопородних верхових коней. Крім того, виявлено асиметрію: у 72% випадків ліві передні копита виявилися довшими за праві [14].

За даними інших дослідників, нормальні параметри товщини дорсальної стінки та кутів фаланг у чистопородних арабських коней мають виражену однорідність, а статистично значущих відмінностей між лівою та правою кінцівками в межах норми виявлено не було [8]. Аналогічні дослідження балансу копита на туркменських конях показали, що показник дистанції від розгинального відростку копитної кістки до вінчика має пряму позитивну кореляцію з живою масою тварини, а кутові параметри суттєво варіюють залежно від віку (коні віком до 3 років мають більш крутий кут дистальної фаланги [11].

Окрему увагу науковців привернули ваговозні породи коней. У інших дослідженнях, було доведено, що класичні референтні інтервали для легких порід коней непридатні для важковозів. Дослідники розрахували специфічне співвідношення товщини дорсальної стінки до довжини копитної кістки, яке в нормі у важковозів становило 0,33 (варіюючи від 0,28 до 0,39), що значно перевищує стандартний показник легких коней та повинно застерігати від хибного діагностування ламініту в клінічно здорових коней великих порід [15].

Таким чином, рентгеноморфометричні параметри клінічно здорових коней мають істотну варіабельність залежно від маси тварини та породи, що потребує додаткового дослідження серед окремих порід для уникнення діагностичних помилок за оцінки кутових та морфологічних параметрів.

Мета. Обґрунтувати та впровадити комплексну систему рентгеноморфометричної оцінки дистального відділу кінцівок коней верхових та рисистих порід для встановлення референтних анатомо-топографічних параметрів копитної кістки відносно рогового чохла та розробки критеріїв ранньої діагностики ортопедичного дисбалансу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Клінічні дослідження передбачали збір анамнестичних даних, огляд тварини, вимірювання температури тіла, частоти серцевих скорочень, дихальних рухів та ортопедичне обстеження, що включало в себе визначення постанови кінцівок, наявність чи відсутність кульгання, характер спирання кінцівки, місцевої температури, пульсації пальцевих артерії, зовнішній огляд копита (наявність деформацій, тріщин, розседин рогу), в тому числі й зі сторони підошви, пальпацію м’якушних хрящів, перкусію, дослідження пробними копитними щипцями.

Рентгенологічні дослідження включали в себе виконання оглядових рентгенограм в латеро-медіальній, а в окремих випадках, для оцінки стану м’якушних хрящів і остеопатичних змін дистальної фаланги, додатково у прямій проекціях та проведення рентгеноморфометричних розрахунків з метою деталізації глибини дислокаційних змін копитної кістки по відношенню до окремих елементів рогової капсули копита за ламінітів.

Підготовка копита до рентгенологічного дослідження передбачала очищення копита від грунту, підстилкового матеріалу, видалення заломленого, сухого рогу та обрізання надмірно об’ємної стрілки, розчищення бокових та міжстрілкової борозенок.

Надалі, копито розміщували на дерев'яному блоці близько 7 см висотою та достатньою шириною, щоб на ньому вільно могло розміщуватись копито своєю підошовною поверхнею. Також використовувався прямий рентгеноконтрастний маркер із металевого дроту довжиною 40 мм, який розміщувався на передній копитній стінці, по серединній лінії після попереднього зняття лущення коронарного шару рогу копитним рашпілем для щільного прилягання.

Виконання рентгенограм здійснювали із використанням мобільного рентгенівського апарату типу «Арман-10ЛУ» виробництва АТ «Актюбрентген, м. Актобе, Казахстан», в наступному режимі: фокусна відстань 60 см, робоча напруга на рентгенівській трубці – 70-90 кВ, експозиція 6-10 мАс.

Рентгенівські знімки отримували із використанням рентгенівських касет із синьочутливим підсилюючим екраном СРВ розміром 24×30 см виробництва «Agfa, Бельгія» та плівок відповідного розміру «ОНІКО РП-У, Україна».

Обробку рентгенівських плівок проводили із використанням проявника G 150 «Agfa, Бельгія» та фіксажу G 354 «ОНІКО, Україна». Вивчення рентгенограм здійснювали із використанням однокадрового негатоскопу OSD-HD301, (OSD, Китай). Окрім плівкових рентгенограм, виконували й цифрову рентгенографію із використанням бездротової пласкопанельної DR-панелі (детектору) з технологією йодиду цезію (CsI), виробництва фірми «VetiPad M1», Китай.

Незважаючи на те, що дистальна фаланга коней і листочки копита є біомеханічно та фізіологічно інтегрованими, дислокаційні та структурні зміни дистальної фаланги недостатньо описані при ламініті. Тому рентгеноморфометричні дослідження дозволять оптимізувати схему класифікації ламініту, яка може бути застосована до широкого спектру ламінітних уражень, рис. 1,2.

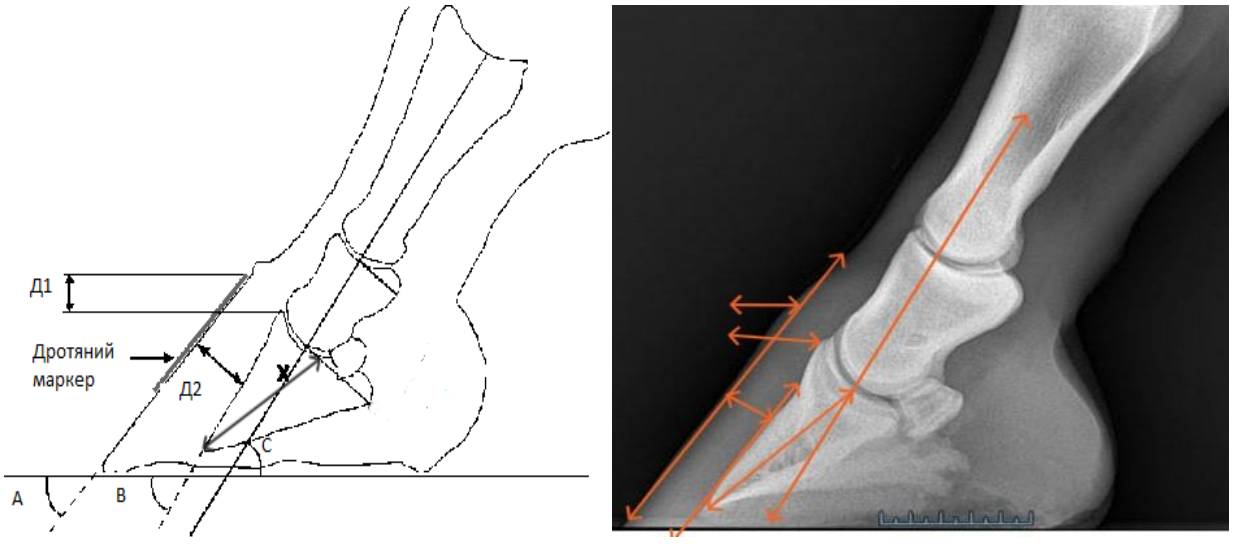


Рис. 1,2. Вихідні дані для рентгеноморфометричних розрахунків

Рентгеноморфометричні розрахунки проводили шляхом визначення наступних величин:

Д1 – дистанція від розгинального відростку копитної кістки до вінчика;

Д2 – товщина стінки в середній її частині;
Д3 – Довжина дистальної фаланги;
А – кут зачепа з грунтом;
В – кут зачепного кінця копитної кістки з грунтом;
С – кут пальцевої осі з грунтом;
D – різниця кутів (В-С);
Е – різниця кутів (В-А).

За вихідні, референтні параметри нами було обрано морфометричні розрахунки рентгенограм копит передніх (n=18) та задніх (n=18) кінцівок коней, без ортопедичної патології верхових та рисистих порід різного віку та статі.

Отриманий цифровий матеріал оброблено методами варіаційної статистики із використанням параметричного критерію Стьюдента та дискримінантного аналізу.

Для виявлення анатомо-рентгенологічних особливостей будови дистального відділу кінцівок коней верхових та рисистих порід було проведено порівняльний аналіз морфометричних параметрів копит грудних та тазових кінцівок. Комплексна оцінка включала 8 ключових ознак, серед яких 3 лінійні показники (Д1, Д2, Д3) та 5 кутових характеристик (кути А, В, С, D, Е). Результати статистичної обробки біометричних даних наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Рентгеноморфометричні дані копит клінічно здорових коней верхових та рисистих порід, (n=18)

Показник		Грудна кінцівка	Тазова кінцівка	*p*<	+/-
Д1, мм	M±m	6,22±0,49	6,56±0,53	нд	+0,34
	lim	3,0-10,0	3,0-10,0		
Д2, мм	M±m	20,39±0,62	19,44±0,41	нд	-0,95
	lim	16,0-25,0	16,0-22,0		
Д3, мм	M±m	6,27±0,31	5,97±0,47	нд	-0,30
	lim	6,0-7,6	5,8-7,5		
Кут А,^{0}	M±m	49,06±0,51	53,11±0,72	0,001	+4,05
	lim	45,0-52,0	48,0-57,0		
Кут В,^{0}	M±m	50,67±0,49	55,22±0,74	0,001	+4,55
	lim	48,0-54,0	50,0-61,0		
Кут С,^{0}	M±m	48,94±0,62	52,94±0,65	0,001	-4,0
	lim	45,0-55,0	50,0-58,0		
Кут D,^{0}	M±m	2,18±0,26	2,76±0,34	нд	+0,58
	lim	0-4,0	0-4,0		
Кут Е,^{0}	M±m	2,21±0,37	2,86±0,40	нд	+0,65
	lim	0-5,0	0-5,0		

Проведений біометричний аналіз вказує на наявність глибокої диференціації між рентгенологічною архітектонікою копит грудних та тазових кінцівок, яка переважно виражається в трансформації їх кутових параметрів. Найбільш виражені та статистично вірогідні зміни виявлено за показниками кутів А та ($p<0,001$). Встановлено, що середнє значення кута А на тазових кінцівках становить 53,11±0,72°, що на 4,05° перевищує аналогічний показник грудних кінцівок (49,06±0,51°). Подібна закономірність виявляється і щодо кута В, який в копитах тазових кінцівок є вірогідно більшим на 4,55° (55,22±0,74° проти 50,67±0,49° для грудних кінцівок, відповідно). Зрушення міжгрупових меж лімітів (для кута А: 45,0–52,0° у грудних проти 48,0–57,0° у тазових) додатково вказує на постійний характер виявленої відмінності. Статистично вірогідна різниця зафіксована також, для кута С ($p<0,001$), проте цей параметр демонструє зворотну тенденцію - його значення зменшується на тазових кінцівках на 4,0° порівняно з грудними, рисунок 3.

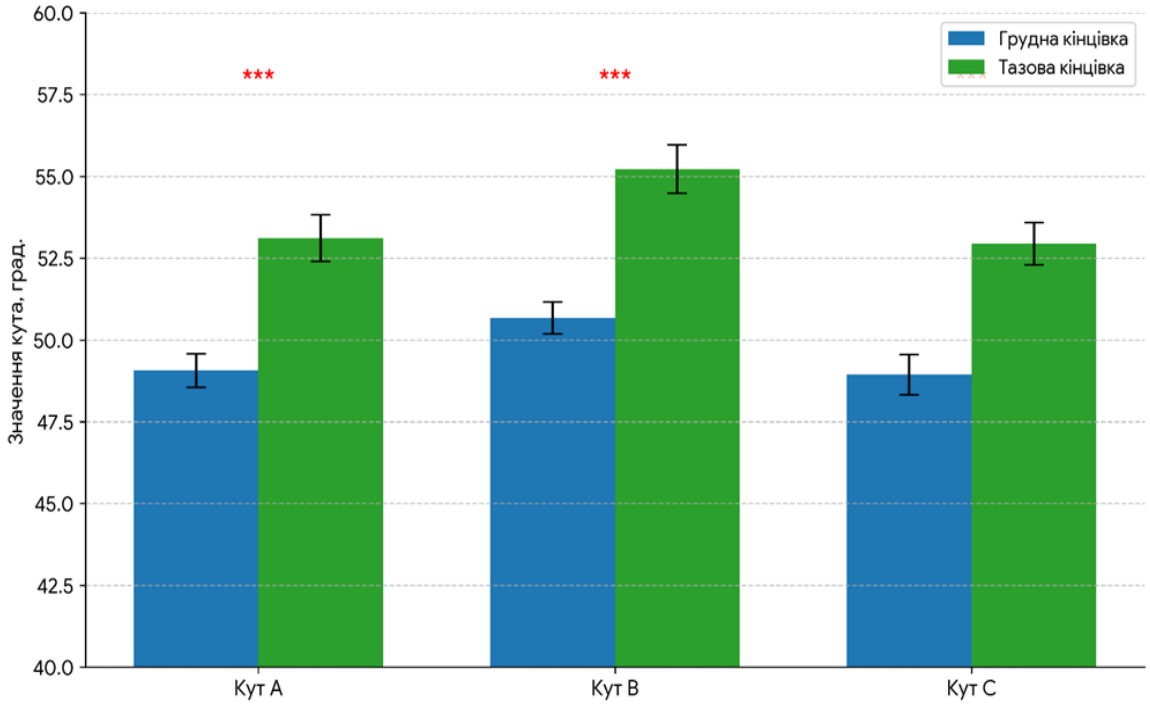


Рис. 3. Порівняльна характеристика кутових параметрів грудної та тазової кінцівок. *Дані представлені як M ± m. Ознакою *** відмічено статистично значущі відмінності між кінцівками при p < 0,001 (за результатами дисперсійного аналізу).*

Описані перетворення кутових характеристик (збільшення кутів А, В та зменшення кута С) мають чітке біомеханічне обґрунтування. Більш крутий нахил стінок тазових копит забезпечує оптимальний кут атаки та жорсткість конструкції, необхідну для реалізації пружньо-ресорного імпульсу під час локомоції. Натомість менші кути нахилу грудних копит роблять їх більш

пологими, що суттєво підвищує їх ресорні (амортизаційні) властивості, мінімізуючи ударні навантаження, оскільки саме на передні кінцівки припадає до 60% статичної ваги тіла тварини. На противагу кутовим параметрам, лінійні розміри копит (Д1, Д2, Д3) не виявили статистично значимої різниці між досліджуваними групами. Зокрема, середня ширина/довжина Д1 на тазових кінцівках має лише слабку тенденцію до збільшення (+0,34 мм), тоді як показники Д2 та Д3 демонструють мінімальне непереконливе зниження (на -0,95 мм та -0,30 мм відповідно). Повна симетричність варіаційних лімітів лінійних ознак (наприклад, для Д1 в обох випадках мінливість обмежена діапазоном 3,0–10,0 мм) вказує на те, що лінійні проміри є відносно стабільними константами екстер'єру коней верхових та рисистих порід, які відображають загальні розміри тварини, а не функціональну специфіку кінцівки.

Показники **кута D** (2,76 ± 0,34°) та **кута E** (2,86 ± 0,40°) на тазових кінцівках мають помірну тенденцію до зростання порівняно з грудними (+0,58° та +0,65°), проте через високий рівень індивідуальної варіативності та широкі межі розподілу від 0 до 4,0–5,0°, ці розбіжності не досягають критерію статистичної достовірності.

Дискримінантний аналіз додатково, з високою вірогідністю (86,7%) продемонстрував наявність істотних кутових відмінностей копит грудних та тазових кінцівок коней з розподілом на анатомічні групи.

Параметри Д1, Д2 та Д3 мають значно менший вплив на дискримінацію порівняно з кутовими характеристиками, що свідчить про те, що передні та задні копита відрізняються передусім своєю формою та нахилом (кутами), а не лінійними лінійними розмірами, рисунок 4.

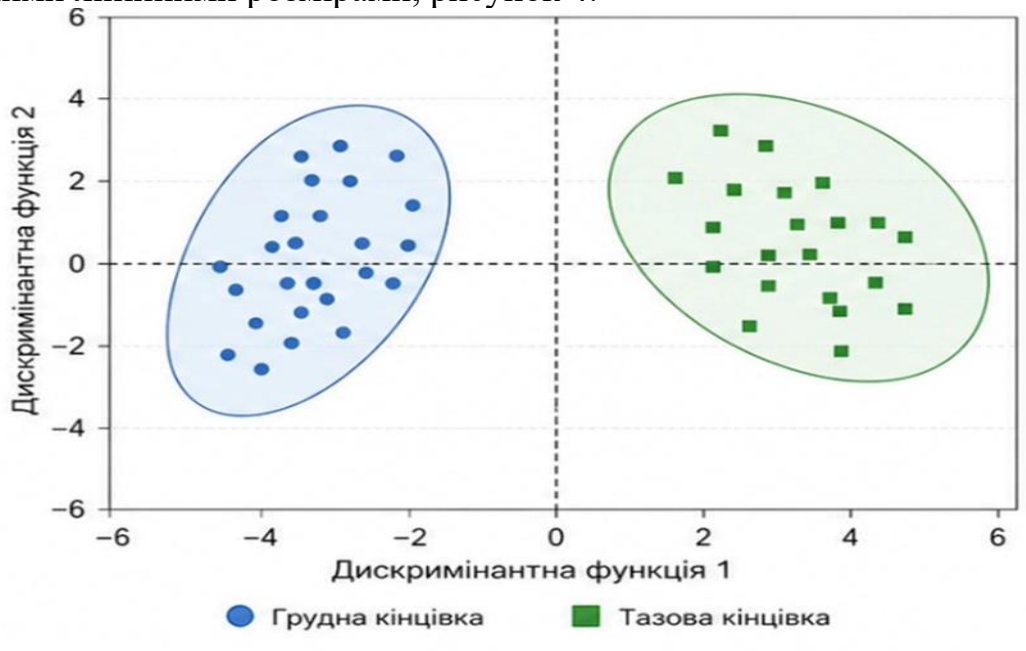


Рис.4. Дискримінантний графік розсіювання рентгеноморфометричних параметрів копит грудної та тазової кінцівок.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. Рентгеноморфометричні показники клінічно здорових коней верхових та рисистих порід мають чіткі порідні варіабельності з чітко визначеними референтними лімітами, які слід враховувати при проведенні рентгеноморфометричних розрахунків за аналізу просторових взаємовідносин між копитною капсулою та кістковими структурами пальця в умовах ортопедичної патології.
2. Морфометрична диференціація копит коней відбувається переважно за рахунок просторової геометрії кутів, а не зміни лінійних розмірів. Ключовими дискримінаційними ознаками грудних та тазових кінцівок є кути A, B та C ($p<0,001$), що відображає функціональну спеціалізацію: адаптацію грудних кінцівок до амортизації, а тазових - до локомоторного поштовху.

Перспективами подальших досліджень, є рентгеноморфометричні розрахунки ступеня порушення просторових взаємовідносин між копитною капсулою та кістковими структурами пальця при оцінці ламінітних уражень, медіо-латерального дисбалансу коней.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Orsini, J.A. (2014). Science-in-brief: Equine laminitis research: milestones and goals. Equine Vet. J., 46(5), 529–33. doi: 10.1111/evj.12301.
2. Yang, Q. & Lopez M.J. (2021). The Equine Hoof: Laminitis, Progenitor (Stem) Cells, and Therapy Development. Toxicol Pathol, 49(7), 1294–1307. doi: 10.1177/0192623319880469.
3. Sherlock, C. & Parks, A. (2013). Radiographic and radiological assessment of laminitis. Equine Vet. Education, 25(10), 524–535. doi: 10.1111/eve.
4. Skelton, G., Acutt, E., Stefanovski, D. & Andrew van Eps. (2024). Evaluation of digital radiographic measurements for the diagnosis of acute laminitis. Equine Vet. J., 57(4), 931–942. doi: 10.1111/evj.14436
5. Dyson, S.J., Tranquille, C.A., Collins, S.N., Parkin, T.D. & Murray, R.C. (2011). An investigation of the relationships between angles and shapes of the hoof capsule and the distal phalanx. Equine Vet J., 43, 295–301. doi: 10.1111/j.2042-3306.2010.00162.x.
6. Engiles, J.B., Galantino-Homer, H.L., Boston, R., McDonald, D., Dishowitz, M. & Hankenson, K.D. (2015). Osteopathology in the Equine Distal Phalanx Associated With the Development and Progression of Laminitis. Vet Pathol., 52(5), 928–944. doi: 10.1177/0300985815588604.
7. Reiser, V., Reiser, A. & Licka, T.F. (2023). Radiological features of arterial channels in the equine third phalanx measured using a novel customized software represent changes of laminitis. Am J Vet Res., 85(1), 1–10. doi: 10.2460/ajvr.23.07.0150.
8. Vosugh, D., Nazem, M.N. & Hooshmand, A.R. (2017). Radiological anatomy of distal phalanx of front foot in the pure Iranian Arabian horse. Folia Morphol., 76, 4, 702–708. doi: 10.5603/FM.a2017.0028.
9. Jacquinet, G., Rowan, C., Ryan, J., Vinardell, T., Thompson, I.R. & Johnson, J.P. (2024). Radiological measurements of the feet of normal Straight Egyptian Arabian horses in Qatar. J Equine Vet Sci, 137:105072. doi: 10.1016/j.jevs.2024.105072.

10. Cripps, P.J. & Eustace, R.A. (1993). Radiological measurements from the feet of normal horses with relevance to laminitis. Equine Vet J., 31(5):427–432. doi: 10.1111/j.2042-3306.1999.tb03844.x.
11. Khaledi, K.A., Mirshahi, A., Sardari, K., Azizzadeh, M. & Ghasemi, S. (2024). Radiographic assessment of normal parameters of forelimb distal phalanx in Turkmen horses. Vet Res Forum, 15(1), 43–47. doi: 10.30466/vrf.2023.562962.3653.
12. Riedesel, E.A. (2013). The equine phalanges. In: Thrall DE, editor. Textbook of veterinary diagnostic radiology. 6th ed. St. Louis, USA: Elsevier Saunders, pp. 446–449.
13. Gündemir, O., Szara, T., Pazvant, G., Dilek, O.E., Sokol, D. & Perez, W. (2021). Radiogrametric analysis of the thoracic limb phalanges in Arabian horses and Thoroughbred horses. Animals (Basel), 11(8):2205. doi: 10.3390/ani11082205.
14. Thieme, K., Ehrle, A. & Lischer, C. (2015). Radiographic measurements of the hooves of normal ponies. Vet J., 206(3), 332–337. doi: 10.1016/j.tvjl.2015.10.005.
15. Larsen, C.D., Wilkinson, T.E., Roberts, G.D., Guess, S.C., Mattoon, J.S. & Sanz, M.G. (2023). Radiographic analysis of the dorsal hoof wall thickness in clinically normal draft horses. Am J Vet Res., 85(1), 1–4. doi: 10.2460/ajvr.23.06.0145.

Lazorenko Andrii,
Associate Professor, Department of Veterinary Medicine and Animal Husbandry
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-0002-0916-3901
e-mail: lazorenkoandrej@gmail.com

Bondarenko Iryna,
Associate Professor, Department of Normal and Pathological Morphology and Forensic Veterinary Medicine
Odesa State Agrarian University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID 0000-0002-1019-3446
e-mail: bondarenkoirina173@gmail.com

X-RAY MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE HOOF ANATOMY OF HORSES OF EQUINE AND TROOPING BREEDS

Abstract

X-ray morphometric parameters of clinically healthy horses have significant variability depending on the mass of the animal and breed, which requires additional research among individual breeds to avoid diagnostic errors when assessing angular and morphological parameters.

The aim of the research was to substantiate and implement a comprehensive system of X-ray morphometric assessment of the distal limb of horses of riding and trotting breeds to establish reference anatomical and topographic parameters of the hoof bone relative to the horny cover and develop criteria for early diagnosis of orthopedic imbalance in laminitis. The radiographs were performed using a mobile X-ray apparatus of the "Arman-10LU" type, in the following mode: focal length 60 cm, operating voltage on the X-ray tube - 70-90 kV, exposure 6-10 mAs.

X-ray images were obtained using X-ray cassettes with a blue-sensitive CPB intensifying screen measuring 24×30 cm manufactured by Agfa, Belgium and films of the corresponding size by ONIKO RP-U, Ukraine.

X-ray films were processed using the G 150 developer by Agfa, Belgium and the G 354 fixer by ONIKO, Ukraine. The radiographs were studied using a single-frame negative scope OSD-HD301, (OSD, China). In addition to film radiographs, digital radiography was also performed using a wireless flat-panel DR panel (detector) with cesium iodide (CsI) technology, manufactured by VetiPad M1, China.

Despite the fact that the distal phalanx of horses and hoof leaflets are biomechanically and physiologically integrated, dislocation and structural changes of the distal phalanx are not sufficiently described in laminitis. Therefore, X-ray morphometric studies will allow us to optimize the laminitis classification scheme, which can be applied to a wide range of laminitis lesions.

As the initial, reference parameters, we chose morphometric calculations of radiographs of the hooves of the fore (n = 18) and hind (n = 18) limbs of horses without orthopedic pathology of riding and trotting breeds of different ages and sexes.

The obtained digital material was processed by methods of variational statistics using the parametric Student's t-test and discriminant analysis.

X-ray morphometric indicators of clinically healthy horses of riding and trotting breeds have clear breed variability with clearly defined reference limits, which should be taken into account when conducting X-ray morphometric calculations by analyzing the spatial relationships between the hoof capsule and bone structures of the finger in conditions of orthopedic pathology.

Morphometric differentiation of horse hooves occurs mainly due to the spatial geometry of the angles, rather than changes in linear dimensions. The key discriminatory features of the thoracic and pelvic limbs are angular characteristics that reflect functional specialization: the adaptation of the thoracic limbs to shock absorption, and the pelvic limbs to locomotor thrust. Prospects for further research include X-ray morphometric calculations of the degree of disruption of the spatial relationship between the hoof capsule and the bone structures of the toe when assessing laminitis lesions, medio-lateral imbalance in horses.

Keywords: *X-ray diagnostics, anatomy of horse hooves, morphometry, laminitis.*

References

1. Orsini, J.A. (2014). Science-in-brief: Equine laminitis research: milestones and goals. Equine Vet. J., 46(5), 529–33. doi: 10.1111/evj.12301.
2. Yang, Q. & Lopez M.J. (2021). The Equine Hoof: Laminitis, Progenitor (Stem) Cells, and Therapy Development. Toxicol Pathol, 49(7), 1294–1307. doi: 10.1177/0192623319880469.
3. Sherlock, C. & Parks, A. (2013). Radiographic and radiological assessment of laminitis. Equine Vet. Education, 25(10), 524–535. doi: 10.1111/eve.
4. Skelton, G., Acutt, E., Stefanovski, D. & Andrew van Eps. (2024). Evaluation of digital radiographic measurements for the diagnosis of acute laminitis. Equine Vet. J., 57(4), 931–942. doi: 10.1111/evj.14436
5. Dyson, S.J., Tranquille, C.A., Collins, S.N., Parkin, T.D. & Murray, R.C. (2011). An investigation of the relationships between angles and shapes of the hoof capsule and the distal phalanx. Equine Vet J., 43, 295–301. doi: 10.1111/j.2042-3306.2010.00162.x.
6. Engiles, J.B., Galantino-Homer, H.L., Boston, R., McDonald, D., Dishowitz, M. & Hankenson, K.D. (2015). Osteopathology in the Equine Distal Phalanx Associated With the Development and Progression of Laminitis. Vet Pathol., 52(5), 928–944. doi: 10.1177/0300985815588604.
7. Reiser, V., Reiser, A. & Licka, T.F. (2023). Radiological features of arterial channels in the equine third phalanx measured using a novel customized software represent changes of laminitis. Am J Vet Res., 85(1), 1–10. doi: 10.2460/ajvr.23.07.0150.
8. Vosugh, D., Nazem, M.N. & Hooshmand, A.R. (2017). Radiological anatomy of distal phalanx of front foot in the pure Iranian Arabian horse. Folia Morphol., 76, 4, 702–708. doi: 10.5603/FM.a2017.0028.
9. Jacquinet, G., Rowan, C., Ryan, J., Vinardell, T., Thompson, I.R. & Johnson, J.P. (2024). Radiological measurements of the feet of normal Straight Egyptian Arabian horses in Qatar. J Equine Vet Sci, 137:105072. doi: 10.1016/j.jevs.2024.105072.
10. Cripps, P.J. & Eustace, R.A. (1993). Radiological measurements from the feet of normal horses with relevance to laminitis. Equine Vet J., 31(5):427–432. doi: 10.1111/j.2042-3306.1999.tb03844.x.

11. Khaledi, K.A., Mirshahi, A., Sardari, K., Azizzadeh, M. & Ghasemi, S. (2024). Radiographic assessment of normal parameters of forelimb distal phalanx in Turkmen horses. Vet Res Forum, 15(1), 43–47. doi: 10.30466/vrf.2023.562962.3653.
12. Riedesel, E.A. (2013). The equine phalanges. In: Thrall DE, editor. Textbook of veterinary diagnostic radiology. 6th ed. St. Louis, USA: Elsevier Saunders, pp. 446–449.
13. Gündemir, O., Szara, T., Pazvant, G., Dilek, O.E., Sokol, D. & Perez, W. (2021). Radiogrametric analysis of the thoracic limb phalanges in Arabian horses and Thoroughbred horses. Animals (Basel), 11(8):2205. doi: 10.3390/ani11082205.
14. Thieme, K., Ehrle, A. & Lischer, C. (2015). Radiographic measurements of the hooves of normal ponies. Vet J., 206(3), 332–337. doi: 10.1016/j.tvjl.2015.10.005.
15. Larsen, C.D., Wilkinson, T.E., Roberts, G.D., Guess, S.C., Mattoon, J.S. & Sanz, M.G. (2023). Radiographic analysis of the dorsal hoof wall thickness in clinically normal draft horses. Am J Vet Res., 85(1), 1–4. doi: 10.2460/ajvr.23.06.0145.

Стаття надійшла до редакції 12.07.2026
Стаття пройшла рецензування 09.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

УДК 619:616.33-002:636.7:616-091.8
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.04

Тетяна Буднік,
PhD з ветеринарії
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна
ORCID ID: 0000-0002-9754-3938
email: tatjanabudnik@ukr.net

Олег Пінський,
кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри внутрішньої патології та морфології
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна
ORCID ID: 0000-0002-1978-5261
email:pinsky.o.v@ukr.net

Анастасія Пінська,
здобувач освітнього рівня магістр
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна
email:pinskanastya@gmail.com

ПАТОФІЗІОЛОГІЧНІ ТА ГІСТОМОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ХРОНІЧНОГО АТРОФІЧНОГО ГАСТРИТУ У СОБАК

Анотація

Атрофічний гастрит у собак є хронічним запальним захворюванням, що супроводжується прогресивними структурними змінами та атрофією залоз слизової оболонки шлунка. Порушення морфофункціонального стану слизової оболонки при цьому захворюванні може призводити до розладів секреторної та травної функцій шлунка, що зумовлює необхідність комплексної клініко-лабораторної та гістологічної діагностики. Мета дослідження – встановити патофізіологічні, клініко-діагностичні, біохімічні та гістоморфологічні особливості атрофічного гастриту у собак, а також визначити характер структурно-функціональних змін слизової оболонки шлунка та їх взаємозв'язок із показниками біохімічного профілю крові. Дослідження проводили на базі Центру захисту тварин ЖМР упродовж 2023–2026 років. Нами встановлено біохімічні зміни, що характеризувалися підвищенням активності печінкових ферментів, зокрема АСТ, АЛТ та ГГТ, порівняно з показниками контрольної групи, що свідчить про порушення функціонального стану печінки та розвиток супутніх метаболічних змін за атрофічного гастриту. Виявлено незначне зниження вмісту загального білку хворих собак що свідчить про порушення процесів травлення та всмоктування поживних речовин у шлунково-кишковому тракті, а також про недостатнє надходження або засвоєння білків внаслідок атрофічних змін слизової оболонки шлунка. Гістологічне дослідження біоптатів слизової оболонки шлунка дало змогу встановити характерні морфологічні зміни, притаманні атрофічному гастриту у собак, та оцінити ступінь їх вираженості. За результатами гістологічного дослідження нами встановлено виражені структурні зміни слизової оболонки шлунка, характерні для атрофічного гастриту: стоншення слизової оболонки, зменшення кількості та розмірів

шлункових залоз, порушення їх архітектоніки, дистрофічні зміни епітеліальних клітин, а також інфільтрацію власної пластинки слизової оболонки клітинами запального ряду.

Ключові слова: *гастропатія, запалення шлунку, біохімічні дослідження крові, с-реактивний білок.*

Вступ. Захворювання шлунка у собак є поширеною патологією травної системи, що супроводжується порушенням секреторної, моторної та травної функції органа, негативно впливаючи на загальний клінічний стан тварини [2]. Гастрит у собак є гетерогенною групою захворювань, що характеризуються запаленням слизової оболонки шлунка різного ступеня вираженості та походження. Залежно від тривалості перебігу розрізняють гострий та хронічний гастрит. За морфологічними змінами слизової оболонки виділяють катаральний, ерозивний, геморагічний, атрофічний та гіпертрофічний гастрити [4, 12]. Хронічний атрофічний гастрит (ХАГ) є одним із найпоширеніших захворювань шлунково-кишкового тракту, для якого характерні атрофічні зміни слизової оболонки шлунка, зменшення кількості залозистих структур та формування вузликових утворень на її поверхні. Етіологія ХАГ є складною та багатофакторною, оскільки різні чинники можуть взаємно посилювати свій вплив. До основних причин розвитку хронічного атрофічного гастриту належить *Helicobacter pylory,* дуоденогастральний рефлекс, вплив N-нітрозосполук, стрес та імунологічні порушення. Захворювання клінічно проявляється нудотою, зниженням або втратою апетиту, порушенням травлення, блювотою, больовими відчуттями в ділянці живота, зменшенням маси тіла [13; 16-17, 24].

Біомаркери відіграють важливу роль у сучасній діагностиці хронічних ентеропатій собак, оскільки можуть використовуватися для встановлення діагнозу, моніторингу клінічного перебігу захворювання та оцінки ефективності проведеної терапії. Їх застосування сприяє об’єктивізації оцінки вираженості запального процесу в шлунково-кишковому тракті, а також дозволяє оптимізувати діагностичний алгоритм шляхом зменшення тривалості обстеження та пов’язаних із ним економічних витрат [23].

До найбільш досліджених і клінічно значущих біомаркерів при хронічній ентеропатії собак належать концентрація гамма-глутамілтрансферази (ГГТ), аспартатамінотрансферази (АСТ), аланін амінотрансферази (АЛТ), вміст альбуміну, фолатів, кобаламіну та С-реактивного білка у сироватці крові [3; 6-7; 14]. Незважаючи на діагностичну цінність сироваткових біомаркерів, їх зміни здебільшого мають неспецифічний характер і не дозволяють достовірно встановити морфологічний тип та ступінь ураження слизової оболонки шлунка. У зв’язку з цим важливе значення в діагностиці хронічного атрофічного гастриту у собак є ендоскопічне дослідження з подальшим гістопатологічним аналізом. Ендоскопічна біопсія шлунково-кишкового тракту (ШКТ) є швидким і відносно малоінвазивним методом оцінки уражень слизової оболонки, що дає змогу цілеспрямовано отримувати зразки з різних відділів ШКТ для подальшого гістопатологічного дослідження [1; 6].

Гістологічне дослідження біоптатів шлунково-кишкового тракту підтверджує наявність запального процесу в слизовій оболонці та дозволяє диференціювати дифузні непластичні стани та атипові інфекційні процеси [7; 10; 12].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Захворювання шлунково-кишкового тракту є однією з найпоширених причин звернення власників дрібних домашніх тварин за ветеринарною допомогою. Діагностика та лікування гастроінтестинальних патологій ускладнюються відсутністю уніфікованих клінічних, діагностичних, гістопатологічних і терапевтичних критеріїв, що зумовлює необхідність комплексного підходу до оцінки стану тварин [5-22]. Хронічні запальні ентеропатії (ХЗЕ) характеризуються тривалим або рецидивуючим перебігом із розвитком шлунково-кишкових клінічних проявів. До основних симптомів належать діарея, блювання, нудота, бурчання в животі, метеоризм, відрижка, абдомінальний біль, втрата маси тіла або різні поєднання зазначених ознак. Вважається, що розвиток ХЗЕ у собак зумовлений взаємодією генетичної схильності з епігенетичними та зовнішніми чинниками. Під їх впливом відбувається порушення імунологічної толерантності, що сприяє надмірній активації компонентів вродженої та адаптивної імунної відповіді організму тварини [8-9; 11-12].

Біохімічні зміни у собак із хронічними захворюваннями шлунка можуть відображати порушення травлення, метаболічного статусу та функціонального стану інших органів, що виникають на тлі тривалого патологічного процесу. Найбільш інформативними показниками є концентрація загального білка, альбуміну, активність АЛТ та АСТ, та ГГТ. Вираженість таких змін залежить від тривалості та тяжкості захворювання, характеру запального процесу, наявності атрофічних змін слизової оболонки та супутніх патологій [3; 6-7].

Термін «гастрит» часто використовують для опису клінічних проявів диспепсії або ендоскопічних змін шлунка, однак у морфологічному розумінні він означає гістологічно підтверджене запалення слизової оболонки шлунка. Важливим критерієм оцінки гастриту є наявність атрофії, що характеризується втратою або зменшенням кількості залозистих структур слизової оболонки. Тривалий запальний процес може призводити до прогресування структурних змін шлунка та розвитку переднеопластичних і неопластичних уражень, що підкреслює важливість своєчасної морфологічної діагностики [18; 24-25]. Важливе діагностичне значення має порівняння результатів гастроскопічного та гістологічного досліджень біоптатів слизової оболонки шлунка [22]. У гуманній медицині для морфологічної оцінки запальних уражень шлунка широко застосовують Сіднейську систему, яка враховує етіологічні, топографічні та морфологічні характеристики патологічного процесу. Основними критеріями є ступінь і активність запалення, наявність атрофії залоз, кишкової метаплазії та інфекції Helicobacter spp [19-20]. Відповідно до оновленої Сіднейської системи, хронічний гастрит поділяють на неатрофічний, атрофічний та особливі форми,

до яких належать хімічний, гранульоматозний, еозинофільний, лімфоцитарний, інфекційний та гастрит, асоційований із радіаційним ураженням [15; 25-26]. У ветеринарній медицині стандартизовані підходи до ендоскопічної та гістопатологічної оцінки гастриту у собак і котів представлені рекомендаціями Групи стандартизації гастроінтестинальних захворювань Всесвітньої асоціації ветеринарних лікарів дрібних тварин (WSAVA). Застосування цих рекомендацій дає змогу проводити стандартизовану якісну та кількісну оцінку макроскопічних змін слизової оболонки під час ендоскопії, а також визначати характер і ступінь вираженості мікроскопічних уражень за результатами гістопатологічного дослідження [26].

Метою нашого дослідження було встановити патофізіологічні та гістоморфологічні особливості перебігу хронічного атрофічного гастриту у собак шляхом аналізу біохімічних показників крові та морфологічних змін слизової оболонки шлунка.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження виконували на собаках із клінічно встановленим діагнозом атрофічного гастриту. Для проведення експерименту було сформовано дослідну та контрольну групи, по 15 тварин у кожній. Розподіл тварин на групи здійснювали за принципом пар-аналогів. Забір крові проводили лікарі ветеринарної медицини на базі Центру захисту тварин Житомирської міської ради (м. Житомир) протягом 2023–2026 років. Лабораторні дослідження виконували в навчальній клініко-діагностичній лабораторії Поліського національного університету. Об'єктом дослідження була нативна кров, отримана від тварин контрольної та дослідної груп. Кров у тварин відбирали з передньої підшкірної вени передпліччя у вакуумні пробірки з активатором згортання. Усього було отримано 30 зразків крові для подальшого біохімічного аналізу. Для виділення сироватки зразки центрифугували протягом 5 хвилин при швидкості 4000 об/хв із використанням лабораторної центрифуги «Zenithlab». Оскільки біохімічні дослідження виконували безпосередньо в день відбору крові, необхідності у додатковому зберіганні або консервуванні зразків не виникало. Визначення біохімічних показників сироватки крові здійснювали на напівавтоматичному біохімічному аналізаторі «Chem-7» (Erba, Чехія) із застосуванням наборів реактивів «DAC» (Молдова) згідно з методичними рекомендаціями виробника.

Біопсійний матеріал для гістологічних досліджень був відібраний кваліфікованим лікарем-ендоскопістом після проведення ультразвукового дослідження (УЗД) шлунка та підтвердження наявності ознак гастриту. Відібрані біоптати поміщали у консервуючий розчин для збереження морфологічної структури тканин, після чого проводили гістологічне дослідження, яке виконували за загальноприйнятою схемою виготовлення гістологічних препаратів.

Мікроскопічне дослідження гістологічних препаратів проводили за допомогою світлового мікроскопа Carl Zeiss Primo Star (Німеччина) при збільшеннях ×100 та ×400. Під час аналізу оцінювали стан покривного та

залозистого епітелію слизової оболонки шлунка, ступінь атрофічних змін, вираженість запальної клітинної інфільтрації, наявність набряку, ерозивних уражень, фіброзу, а також інші морфологічні зміни, характерні для атрофічного гастриту.

Усі маніпуляції з тваринами проводили відповідно до чинних етичних норм, викладених у «Загальних етичних принципах експериментів на тваринах» (Україна, 2001), Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» від 15.07.2021 № 1684-IX, а також положень «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та інших наукових цілей». Статистичний аналіз отриманих результатів проводили із застосуванням варіаційно-статистичних методів у програмі Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США). Для оцінки достовірності відмінностей між досліджуваними групами використовували F-критерій Фішера. Статистично значущими вважали відмінності при рівнях значущості $p < 0,05$, $p < 0,01$ та $p < 0,001$.

Виклад основного матеріалу дослідження. Упродовж 2023-2026 років на базі Центру захисту тварин Житомирської міської ради було проведено клініко-діагностичне обстеження 100 собак із підозрою на гастрит. За результатами комплексного обстеження атрофічний гастрит (АГ) було діагностовано у 15% тварин. Діагноз АГ встановлювали на підставі результатів біохімічного дослідження сироватки крові, біопсії слизової оболонки шлунку та гістологічного дослідження отриманого матеріалу.

Біохімічне дослідження сироватки крові собак з атрофічним гастритом виявило статистично значущі зміни низки показників, які відображають порушення функціональної здатності шлунку (табл . 1).

Таблиця 1

Деякі показники сироватки крові собак за хронічного атрофічного гастриту

Показники	Контроль 1 група (n=15)	Дослід 1 група (n=15)
Загальний білок, (г/л)	67,96±1,97	64,80±1,86***
Альбуміни, (г/л)	32,55±2,73	28,37±3,61***
АСТ, (од/л)	32,41±8,81	55,68±23,33**
АЛТ, (од/л)	43,77±11,44	113,09±36,18***
ГГТ, (од/л)	4,23±2,40	13,01±6,59***
ЛДГ, (од/л)	110,60±43,10	312,73±151,74***
Креатинкіназа(од/л)	219,10±63,17	338,90±174,24*
Сечовина (ммоль/л)	7,10±1,88	9,09±2,80*
С-реактивний білок мг/л	18,65±8,61	84,43±26,00***

Примітка: * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$

Рівень загального білку в сироватці крові дослідної групи становив 64,80±1,86 г/л, тоді як у тварин контрольної групи – 67,96±1,97 г/л (див. табл. 1).

Виявлене незначне зниження концентрації загального білка у собак з АГ може свідчити про порушення процесів травлення та всмоктування поживних речовин у шлунково-кишковому тракті, а також про недостатнє надходження або засвоєння білків внаслідок атрофічних змін слизової оболонки шлунка. Концентрація альбумінів сироватки крові у собак дослідної групи була на 12,8% нижчою порівняно з контрольною групою. Зниження рівня альбумінів у сироватці крові хворих тварин може свідчити про порушення білоксинтезуючої функції організму та недостатнє всмоктування білків. Зниження альбумінів на тлі підвищення глобулінів є ознакою хронічного запального процесу. Такі зміни свідчать про активацію імунної відповіді, посилений синтез імуноглобулінів та білків гострої фази, зокрема с-реактивного білку. Підвищення даного показнику у собак дослідної групи до 84,43±26,00 мг/л може бути пов'язане з хронічним запаленням слизової оболонки шлунка та деструктивно-атрофічними змінами гастричного епітелію. Такі зміни є характерними для хронічного перебігу захворювання та можуть відображати розвиток синдрому мальдигестії та мальабсорбції.

Активність аспартатамінотрансферази у собак з атрофічним гастритом становила 55,68±23,33 Од/л що на 71,8% перевищувало показник контрольної групи. Підвищення активності АСТ свідчить про пошкодження клітинних мембран і вихід ферменту у кровяне русло. У собак з АГ це може бути пов'язано з хронічним запальним процесом та дистрофічними змінами у тканинах також вторинним ураженням печінки внаслідок тривалого перебігу захворювання та порушення метаболічних процесів.

Підвищення аланінамінотрансферази у 2,6 рази у собак дослідної групи порівняно з контролем свідчить про розвиток цитолітичних процесів та порушення цілісності клітинних мембран, зокрема гепатоцитів. Залучення гепатобіліарної системи до патологічного процесу є важливим маркером в діагностиці метаболічних порушень та інтоксикаційного синдрому, який міг виникнути на фоні тривалого запального процесу в шлунку.

Активність гамаглумілтрансферази у сироватці крові собак дослідної групи становила 13,01±6,59 Од/л, проти 4,23±2,40 Од/л у контролі. Особливу увагу привертає активність γ-глутамілтрансферази, яка є одним із найбільш чутливих біохімічних маркерів ураження гепатобіліарної системи. Підвищення активності ГГТ у собак з атрофічним гастритом може свідчити про розвиток холестатичних явищ, ураження епітелію жовчних проток та вторинне залучення печінки до патологічного процесу.

Підвищення активності лактатдегідрогенази (ЛДГ) у сироватці крові собак з атрофічним гастритом до 312,73±151,74 Од/л свідчить про посилення цитолітичних процесів та порушення структурно-функціональної цілісності клітин. Зростання концентрації ферменту відображає інтенсивність тканинної деструкції, зумовленої хронічним запаленням, атрофічними змінами слизової оболонки шлунка та розвитком локальної гіпоксії. Оскільки ЛДГ є ключовим ферментом анаеробного гліколізу, її підвищена активність також вказує на

метаболічну перебудову клітин у відповідь на запальне ушкодження та недостатню оксигенацію тканин. Таким чином, збільшення активності ЛДГ можна розглядати як біохімічний маркер вираженості деструктивно-запальних процесів при атрофічному гастриті у собак.

Підвищення активності креатинінкінази (КК) у сироватці крові собак з атрофічним гастритом до 338,90±174,24 Од/л проти 219,10±63,17 Од/л у групі контролю відображає розвиток системних метаболічних порушень, асоційованих із тривалим перебігом хронічного запального процесу. Зростання активності ферменту є наслідком підвищеної проникності цитоплазматичних мембран та вивільнення внутрішньоклітинних ферментів у кров'яне русло. За атрофічного гастриту це може бути пов'язано з розвитком білково-енергетичної недостатності, посиленням катаболічних процесів, порушенням енергетичного обміну та вторинними дистрофічними змінами у м'язовій тканині.

Збільшення концентрації сечовини є наслідком дисбалансу між її утворенням та екскрецією і може бути зумовлене активацією катаболічних процесів, підвищеним розпадом білків, дегідратацією та преренальною азотемією. У собак з атрофічним гастритом підвищення рівня сечовини в сироватці крові на 28% відображає системні метаболічні порушення, що супроводжують хронічне запалення слизової оболонки шлунка, та може бути біохімічним маркером тяжкості перебігу патологічного процесу.

Гістологічне дослідження біоптатів слизової оболонки шлунка дало змогу встановити характерні морфологічні зміни, притаманні атрофічному гастриту у собак, та оцінити ступінь їх вираженості.

Під час гістологічного дослідження біоптатів слизової оболонки шлунка собак з атрофічним гастритом встановлено виражені структурно-деструктивні зміни, характерні для хронічного перебігу захворювання. Слизова оболонка була нерівномірно зменшена за товщиною внаслідок атрофії одношарового циліндричного залозистого епітелію, клітини якого втрачали типову висоту, полярність та секреторну активність (рис. 1).

У поверхневому епітелії місцями відзначали дистрофічні зміни, десквамацію окремих клітин і зменшення кількості слизоутворюючих елементів. Власна пластинка слизової оболонки була потовщена за рахунок дифузної лімфоплазмоцитарної інфільтрації, представленої переважно зрілими лімфоцитами та плазматичними клітинами, що локалізувалися навколо залозистих структур та кровоносних судин. Запальний інфільтрат мав переважно хронічний характер і супроводжувався помірним розростанням сполучної тканини.

Кардіальні залози характеризувалися вираженими атрофічними змінами: спостерігалося зменшення їх кількості, нерівномірне звуження просвіту, редукція секреторних відділів та часткова дезорганізація архітектоніки. Аналогічні зміни виявлялися і в кардіальних залозах ділянки стравохідно-шлункового переходу, де відзначали атрофію секреторного епітелію та осередкову заміну залозистих структур волокнистою сполучною тканиною. У

пілоричному відділі шлунка спостерігали атрофію пілоричних залоз зі зменшенням їх щільності, скороченням кількості секреторних клітин та звуженням просвіту залоз. Подекуди відзначали деформацію залозистих комплексів, їх нерівномірне розташування та осередковий перигландулярний фіброз.

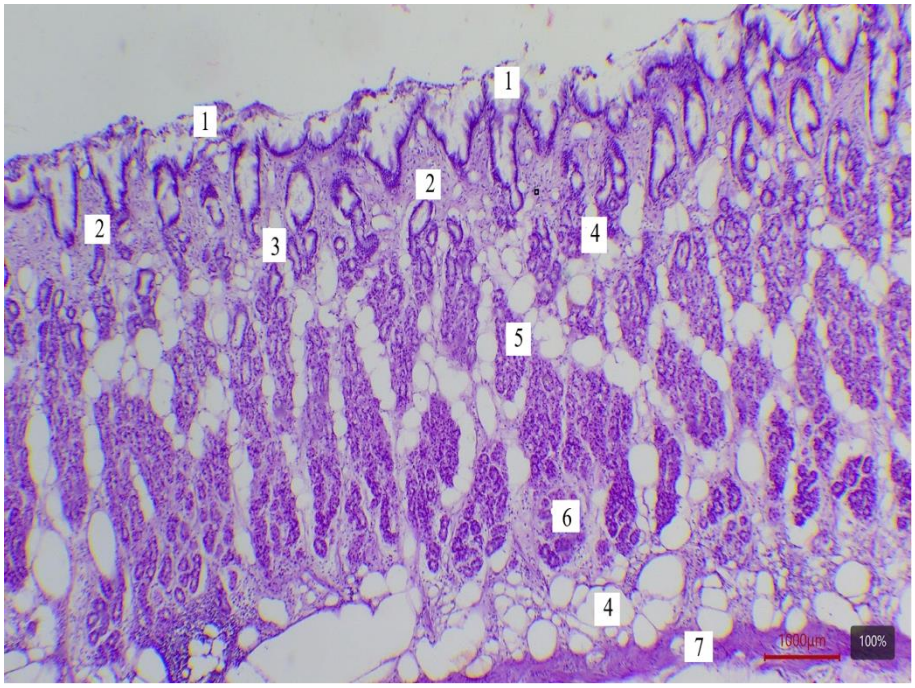


Рис. 1. Шлунок собаки за хронічного атрофічного гастриту:
1 – атрофія одношарового циліндричного залозистого епітелію; 2 –пластинки слизової оболонки; 3 – кардіальні залози стравоходу; 4 – пілоричні залози; 5 – плазматичні клітини та лімфоцити; 6 – кардіальні залози шлунка; 7 – м'язова пластинка слизової оболонки шлунка.
Гематоксилін та еозин. Х100

М'язова пластинка слизової оболонки шлунка була нерівномірно потовщена, місцями дезорганізована, з ознаками гіпертрофії окремих гладеньком'язових пучків та вогнищевого розростання сполучної тканини. Судини мікроциркуляторного русла були помірно розширені та повнокровні, з периваскулярною лімфоплазмоцитарною інфільтрацією.

У власній пластинці слизової оболонки відзначали виражену дифузну лімфоплазмоцитарну інфільтрацію, представлену переважно зрілими лімфоцитами та плазматичними клітинами, які щільно оточували шлункові залози та судини мікроциркуляторного русла (рис. 2).

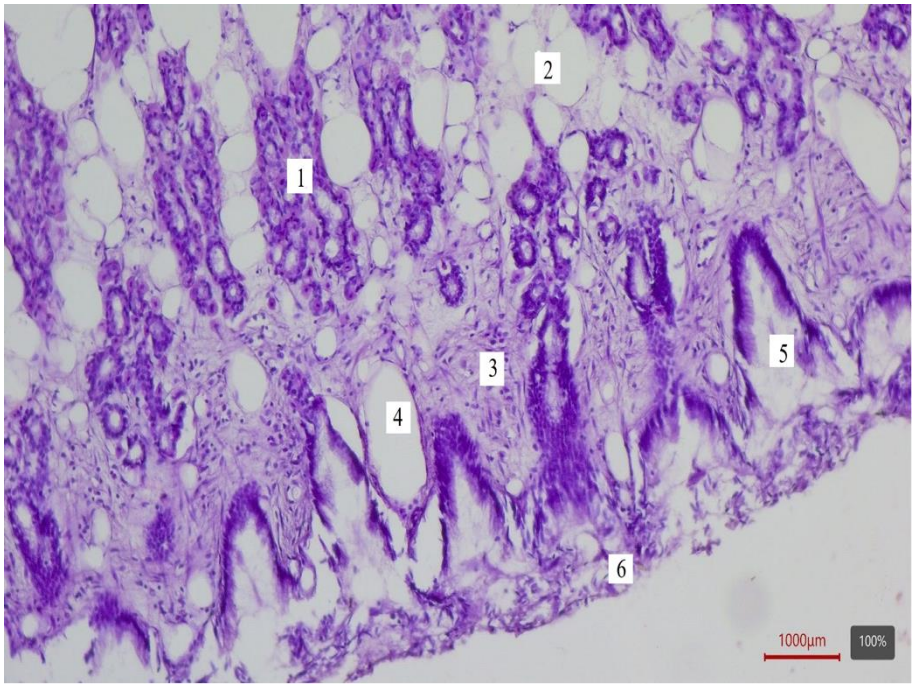


Рис. 2. Шлунок собаки за хронічного атрофічного гастриту:
1 – кардіальні залози; 2 – пілоричні залози; 3 – дисплазія плазматичних клітин та лімфоцитів;
4 – глибока шлункова ямка; 5 – дисплазія власної пластинки; 6 – атрофія одношарового циліндричного залозистого епітелію.
Гематоксилін та еозин. Х400

Інтенсивність клітинної інфільтрації супроводжувалася дезорганізацією архітектоніки власної пластинки, її фіброзним ремоделюванням та порушенням нормального взаєморозташування структурних компонентів слизової оболонки.

Шлункові ямки були нерівномірно подовжені та поглиблені, місцями звивисті, що відповідало явищам фовеолярної гіперплазії та відображало компенсаторно-адаптивну перебудову слизової оболонки у відповідь на тривалий хронічний запальний процес. Одночасно відзначали атрофію залозистого компонента зі зменшенням щільності та об’єму шлункових залоз.

В окремих ділянках слизової оболонки виявляли осередки епітеліальної дисплазії, що характеризувалися порушенням архітектоніки залоз, втратою полярності епітеліальних клітин, ядерним поліморфізмом та гіперхромією ядер (рис. 3).

Таким чином, гістологічне дослідження біоптатів слизової оболонки шлунка собак з атрофічним гастритом виявило комплекс характерних морфологічних змін, що включав атрофію одношарового циліндричного залозистого епітелію, редукцію кардіальних і пілоричних залоз, поглиблення шлункових ямок, дезорганізацію та фіброзне ремоделювання власної пластинки слизової оболонки, а також виражену лімфоплазмоцитарну інфільтрацію.

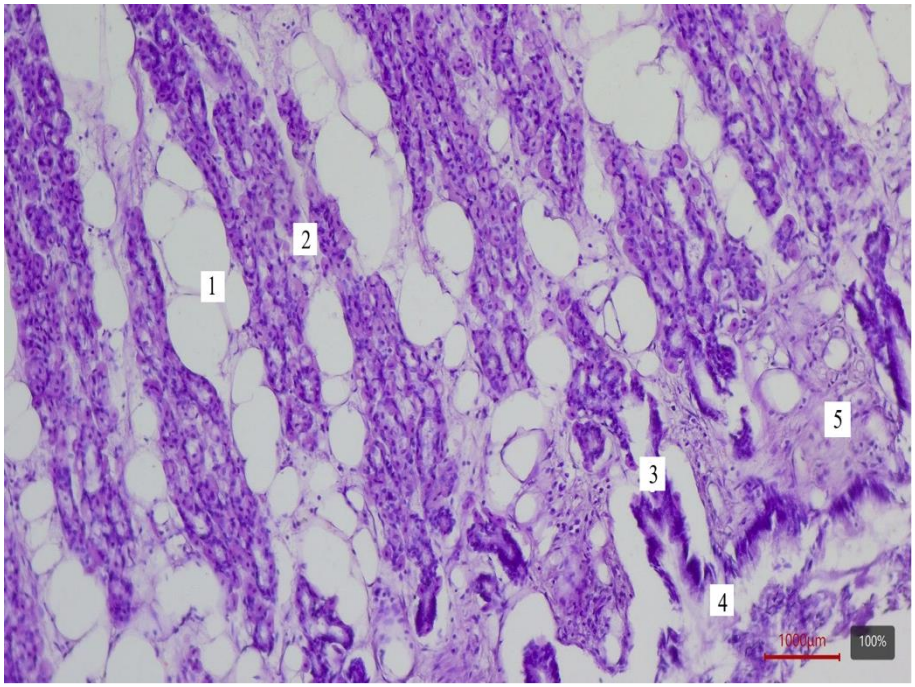


Рис. 3. Шлунок собаки за хронічного атрофічного гастриту:
1 – пілоричні залози; 2 – пластинки слизової оболонки; 3 – дисплазія пластинки слизової оболонки; 4 – атрофія одношарового циліндричного залозистого епітелію; 5 – дисплазія плазматичних клітин та лімфоцитів. Гематоксилін та еозин. Х400

Сукупність зазначених змін свідчить про хронічний прогресуючий перебіг запального процесу, порушення секреторної та регенераторної функцій слизової оболонки шлунка і підтверджує морфологічні критерії атрофічного гастриту у собак.

Висновки. У собак із гастритом за результатами біохімічного дослідження крові встановлено незначне зниження рівня загального білка до 64,80 г/л та підвищення концентрації С-реактивного білка до 84,43 мг/л, що може свідчити про порушення білкового обміну та всмоктувальної функції травного тракту на тлі вираженого хронічного запального процесу. За результатами біохімічного дослідження крові у собак із гастритом встановлено виражені зміни показників функціонального стану печінки та білково-енергетичного обміну. Активність АСТ була на 71,8 % вищою порівняно з контрольною групою, тоді як активність АЛТ перевищувала контрольні значення у 2,6 раза. Активність ГГТ у тварин дослідної групи була майже втричі вищою, ніж у контролі. Концентрація ЛДГ зростала до 312,73 Од/л, що більш ніж удвічі перевищувало фізіологічний рівень 150 Од/л у собак. Вміст сечовини в сироватці крові був на 28 % вищим порівняно з контрольною групою. Виявлені біохімічні зміни свідчать про порушення функціонального стану гепатобіліарної системи та метаболічних процесів у собак із гастритом.

За результатами гістологічного дослідження основними морфологічними ознаками хронічного гастриту були дистрофічні зміни та десквамація поверхневого епітелію, порушення архітектоніки шлункових залоз, набряк строми та інфільтрація слизової оболонки клітинами запалення.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації.

Список використаної літератури

1. Ayoub, A., Pawde, A. M., Amarpal, Saxena, A. C., Kumar, R., Singh, B. P., & Raja, R. (2025). Correlation of endoscopy, radiography and ultrasonography findings of upper and lower GIT cases in dogs. Indian Journal of Animal Research, 1–8. Advance online publication. https://doi.org/10.18805/IJAR.B-5643
2. Blois, S. (2025). Gastritis in small animals. In L. Hess (Ed.), MSD Veterinary Manual (11th ed.). Merck & Co., Inc.
3. Bordin, D. S., Basso, D., Dinis-Ribeiro, M., Fassan, M., Graham, D. Y., Leja, M., Malfertheiner, P., Rugge, M., & Savarino, E. (2025). Gastritis: Pathophysiology, diagnosis, and clinical implications. Diagnostics, 15(8), 994. https://doi.org/10.3390/diagnostics15080994
4. Bordin, D. S., Fassan, M., Savarino, E., Leja, M., Graham, D. Y., Rugge, M., & Malfertheiner, P. (2024). Gastritis: Pathophysiology and clinical management. Biomedicines, 12(12), 2788. https://doi.org/10.3390/biomedicines12122788
5. Bruining-Staal, K., Verburgh-Hoffmann, G., & Ploeg, M. (2022). Ultrasonographic, gastroscopic and histologic report of a mass-like lesion in the stomach of a dog: Chronic lymphoplasmacytic and hyperplastic gastritis. Veterinary Record Case Reports, 10(3), e372. https://doi.org/10.1002/vrc2.372
6. de Oliveira-Barros, L. M., Holanda, A. G. A., Heilmann, R., Steiner, J. M., de Queiroz, G. F., Catão-Dias, J. L., & Matera, J. M. (2025). Correlation of disease markers with clinical, endoscopic, and histologic findings in dogs with chronic gastrointestinal inflammation. Brazilian Journal of Veterinary Medicine, 47, e001225. https://doi.org/10.29374/2527-2179.bjvm001225
7. Dupouy-Manescau, N., Méric, T., Sénécat, O., Drut, A., Valentin, S., Leal, R.O., Hernandez, J. (2024). Updating the classification of chronic inflammatory enteropathies in dogs. Animals (Basel). 2024 Feb 21;14(5):681. https://doi.org/10.3390/ani14050681
8. Esther Vázquez-Fernández, Agustín Rebollada-Merino, Antonio Rodríguez-Bertos et al. (2023). Forensic cases of starved dogs: Novel histologic-morphometric and immunohistochemical tools for atrophy assessment. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3375398/v1
9. Husnik, R., Klimes, J., Kovarikova, S., & Kolorz, M. (2022). Helicobacter species and their association with gastric pathology in a cohort of dogs with chronic gastrointestinal signs. Animals, 12(10), 1254. https://doi.org/10.3390/ani121012544
10. Jang, H., Jeon, Y., & Jung, D.-I. (2025). Clinical approach to chronic enteropathy using capsule endoscopy in two dogs. Journal of Biomedical and Translational Research, 26(1), 11–19. https://doi.org/10.12729/jbtr.2025.26.1.11
11. Jankowski, M., Spużak, J., Kubiak, K., Glińska-Suchocka, K., Biernat, M., & Nowak, M. (2020). A modified Sydney system for the diagnosis of chronic gastritis in dogs. Acta Veterinaria Scandinavica, 62, 52. https://doi.org/10.1186/s13028-020-00542-2
12. Jergens, A. E., Heilmann, R. M. (2022). Canine chronic enteropathy-current state of the art and emerging concepts. Frontiers in Veterinary Science, 21;9:923013. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.923013
13. Jha, A., Jha, D. K., Joshi, A. U., Pandey, S., & Ahmad, F. K. (2025). A rare presentation of erosive gastritis caused by Helicobacter heilmannii infection. Cureus, 17(6). https://doi.org/10.7759/cureus.82574

14. Kaga, C., Kakiyama, S., Hokkyo, A., Ogata, Y., Shibata, J., Nagahara, T., Nakazawa, M., Nakagawa, T., Tsujimoto, H., Chambers, J.K., Uchida, K., Matsumoto, S., Kobayashi, T., Tomiyasu, H., Mizusawa, N. (2024). Characterization of faecal microbiota and serum inflammatory markers in dogs diagnosed with chronic enteropathy or small-cell lymphoma: a pilot study. Scientific Reports, 14(1):19387. https://doi.org/10.1038/s41598-024-69923-1
15. Kim, D. H., Son, B. K., Min, K. W., Han, S. K., Na, J. U., Choi, P. C., & Kim, Y. S. (2020). Chronic gastritis is associated with a decreased high-density lipid level: Histological features of gastritis based on the updated Sydney system. Journal of Clinical Medicine, 9(6), 1856. https://doi.org/10.3390/jcm9061856
16. Kuang, W., Xu, J., Xu, F., Huang, W., Majid, M., Shi, H., Yuan, X., Ruan, Y. & Hu, X. (2024). Current study of pathogenetic mechanisms and therapeutics of chronic atrophic gastritis: a comprehensive review. Frontiers in Cell and Developmental Biology, 12:1513426. https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1513426
17. Manzoor, I., & Rasool, A. (2024). Comprehensive evaluation and management of chronic gastritis in a dog: A case report. Journal of Veterinary and Animal Sciences, 55(3), 670–674. https://doi.org/10.51966/jvas.2024.55.3.670-674
18. Manzoor, I., Soodan, J. S., Tikoo, A., Sharma, A., & Ahmed, J. A. (2024). Haemato-biochemical studies on chronic gastritis in dogs. Indian Journal of Veterinary Science and Biotechnology, 20(4), 124–128. https://doi.org/10.48165/ijvsbt.20.4.26
19. Morozenko, D., Vashchykv, Y., Kononenko, N., Zakhariev, A., Seliukova, N., Berezhnyi, D., Gliebova, G., & Chikitkina, V. (2022). Biochemical markers of connective tissue in the pathogenesis of gastroenteritis in dogs and cats. ScienceRise: Biological Science, (3(32), 13–18. https://doi.org/10.15587/2519-8025.2022.266240
20. Patel, P. K., Dixit, S. K., Kumar, A., Saxena, A. C., Verma, N. K., & Bhatt, T. S. (2020). Study of alteration in haemato-biochemical indices in canine gastritis. Haryana Veterinarian, 59, 87–89. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15882.62400
21. Rifiova, J.E., Schiborra ,F., Mäntylä Noble, P-J., Vigevani, N., Blundell, R.J., Guillem, J. (2024). CT findings in a dog with chronic giant hypertrophic gastritis: ménétrier-like disease. Vet Radiol Ultrasound, 65:844–848. https://doi.org/10.1111/vru.13437
22. Rugge, M., Genta, R. M., Malfertheiner, P., Dinis-Ribeiro, M., El-Serag, H., Graham, D. Y., Kuipers, E. J., Leung, W. K., Park, J. Y., Rokkas, T., Schulz, C., El-Omar, E. M., & RE.GA.IN. (2024). RE.GA.IN.: The Real-world Gastritis Initiative—Updating the updates, 73(3), 407–441. https://doi.org/10.1136/gutjnl-2023-331164
23. Sacoor, C., Barros, L.M., Montezinho, L. (2021). What are the potential biomarkers that should be considered in diagnosing and managing canine chronic inflammatory enteropathies? Open Vet Journal. 2021 Jan;10(4):412-430. https://doi.org/10.4314/ovj.v10i4.9
24. Taillieu, E., Chiers, K., Amorim, I. et al. Gastric Helicobacter species associated with dogs, cats and pigs: significance for public and animal health. Vet Res 53, 42 (2022). https://doi.org/10.1186/s13567-022-01059-4
25. Tollefson, C. R., Merkhassine, M., Duhamel, G. E., Chambers, B. M., & Miller, M. (2026). Ultrasonographic features of gastric mucosal hypertrophy in dogs receiving chronic omeprazole: a retrospective case series. Journal of the American Veterinary Medical Association (published online ahead of print 2026). Retrieved Jul 2, 2026, from https://doi.org/10.2460/javma.26.04.0297
26. Tom Biénès, Rodolfo Oliveira Leal, Marina Dominguez-Ruiz, Rodolfo Elvas De Carvalho, Nina Fernandes Rodrigues, Claire Dally, Jean-Charles Husson, Kevin Le Boedec, Juan Hernandez, Association of gastric lymphofollicular hyperplasia with Helicobacter-like organisms in dogs, Journal of Veterinary Internal Medicine, Volume 36, Issue 2, March 2022, Pages 515-524, https://doi.org/10.1111/jvim.16387

Tetiana Budnik,
PhD in Veterinary Science
Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-9754-3938
email: tatjanabudnik@ukr.net

Oleg Pinsky,
Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Internal Pathology and Morphology
Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-1978-5261
email:pinsky.o.v@ukr.net

Anastasia Pinskaya,
Master's degree applicant
Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine
email:pinskanastya@gmail.com

Abstract

Atrophic gastritis in dogs is a chronic inflammatory disease accompanied by progressive structural changes and atrophy of the glands of the gastric mucosa. Violation of the morphofunctional state of the mucosa in this disease can lead to disorders of the secretory and digestive functions of the stomach, which necessitates the need for comprehensive clinical, laboratory and histological diagnostics. The aim of the study is to establish the pathophysiological, clinical, diagnostic, biochemical and histomorphological features of atrophic gastritis in dogs, as well as to determine the nature of structural and functional changes in the gastric mucosa and their relationship with the indicators of the biochemical profile of the blood. The study was conducted at the Animal Protection Center of the ZCC during 2023–2026. We identified biochemical changes characterized by increased activity of liver enzymes, in particular AST, ALT and GGT, compared to the control group, which indicates a violation of the functional state of the liver and the development of concomitant metabolic changes in atrophic gastritis. A slight decrease in the total protein content of sick dogs was found, which indicates a violation of the processes of digestion and absorption of nutrients in the gastrointestinal tract, as well as insufficient intake or absorption of proteins due to atrophic changes in the gastric mucosa. Histological examination of gastric mucosal biopsies allowed us to establish characteristic morphological changes inherent in atrophic gastritis in dogs and to assess their severity. According to the results of histological examination, we established pronounced structural changes in the gastric mucosa, characteristic of atrophic gastritis: thinning of the mucosa, reduction in the number and size of gastric glands, disruption of their architectonics, dystrophic changes in epithelial cells, as well as infiltration of the lamina propria of the mucosa by inflammatory cells.
Key words: *gastropathy, stomach inflammation, biochemical blood tests, c-reactive protein.*

References

1. Ayoub, A., Pawde, A. M., Amarpal, Saxena, A. C., Kumar, R., Singh, B. P., & Raja, R. (2025). Correlation of endoscopy, radiography and ultrasonography findings of upper and lower GIT cases in dogs. Indian Journal of Animal Research, 1–8. Advance online publication. https://doi.org/10.18805/IJAR.B-5643
2. Blois, S. (2025). Gastritis in small animals. In L. Hess (Ed.), MSD Veterinary Manual (11th ed.). Merck & Co., Inc.

3. Bordin, D. S., Basso, D., Dinis-Ribeiro, M., Fassan, M., Graham, D. Y., Leja, M., Malfertheiner, P., Rugge, M., & Savarino, E. (2025). Gastritis: Pathophysiology, diagnosis, and clinical implications. Diagnostics, 15(8), 994. https://doi.org/10.3390/diagnostics15080994
4. Bordin, D. S., Fassan, M., Savarino, E., Leja, M., Graham, D. Y., Rugge, M., & Malfertheiner, P. (2024). Gastritis: Pathophysiology and clinical management. Biomedicines, 12(12), 2788. https://doi.org/10.3390/biomedicines12122788
5. Bruining-Staal, K., Verburgh-Hoffmann, G., & Ploeg, M. (2022). Ultrasonographic, gastroscopic and histologic report of a mass-like lesion in the stomach of a dog: Chronic lymphoplasmacytic and hyperplastic gastritis. Veterinary Record Case Reports, 10(3), e372. https://doi.org/10.1002/vrc2.372
6. de Oliveira-Barros, L. M., Holanda, A. G. A., Heilmann, R., Steiner, J. M., de Queiroz, G. F., Catão-Dias, J. L., & Matera, J. M. (2025). Correlation of disease markers with clinical, endoscopic, and histologic findings in dogs with chronic gastrointestinal inflammation. Brazilian Journal of Veterinary Medicine, 47, e001225. https://doi.org/10.29374/2527-2179.bjvm001225
7. Dupouy-Manescau, N., Méric, T., Sénécat, O., Drut, A., Valentin, S., Leal, R.O., Hernandez, J. (2024). Updating the classification of chronic inflammatory enteropathies in dogs. Animals (Basel). 2024 Feb 21;14(5):681. https://doi.org/10.3390/ani14050681
8. Esther Vázquez-Fernández, Agustín Rebollada-Merino, Antonio Rodríguez-Bertos et al. (2023). Forensic cases of starved dogs: Novel histologic-morphometric and immunohistochemical tools for atrophy assessment. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3375398/v1
9. Husnik, R., Klimes, J., Kovarikova, S., & Kolorz, M. (2022). Helicobacter species and their association with gastric pathology in a cohort of dogs with chronic gastrointestinal signs. Animals, 12(10), 1254. https://doi.org/10.3390/ani121012544
10. Jang, H., Jeon, Y., & Jung, D.-I. (2025). Clinical approach to chronic enteropathy using capsule endoscopy in two dogs. Journal of Biomedical and Translational Research, 26(1), 11–19. https://doi.org/10.12729/jbtr.2025.26.1.11
11. Jankowski, M., Spużak, J., Kubiak, K., Glińska-Suchocka, K., Biernat, M., & Nowak, M. (2020). A modified Sydney system for the diagnosis of chronic gastritis in dogs. Acta Veterinaria Scandinavica, 62, 52. https://doi.org/10.1186/s13028-020-00542-2
12. Jergens, A. E., Heilmann, R. M. (2022). Canine chronic enteropathy-current state of the art and emerging concepts. Frontiers in Veterinary Science, 21;9:923013. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.923013
13. Jha, A., Jha, D. K., Joshi, A. U., Pandey, S., & Ahmad, F. K. (2025). A rare presentation of erosive gastritis caused by Helicobacter heilmannii infection. Cureus, 17(6). https://doi.org/10.7759/cureus.82574
14. Kaga, C., Kakiyama, S., Hokkyo, A., Ogata, Y., Shibata, J., Nagahara, T., Nakazawa, M., Nakagawa, T., Tsujimoto, H., Chambers, J.K., Uchida, K., Matsumoto, S., Kobayashi, T., Tomiyasu, H., Mizusawa, N. (2024). Characterization of faecal microbiota and serum inflammatory markers in dogs diagnosed with chronic enteropathy or small-cell lymphoma: a pilot study. Scientific Reports, 14(1):19387. https://doi.org/10.1038/s41598-024-69923-1
15. Kim, D. H., Son, B. K., Min, K. W., Han, S. K., Na, J. U., Choi, P. C., & Kim, Y. S. (2020). Chronic gastritis is associated with a decreased high-density lipid level: Histological features of gastritis based on the updated Sydney system. Journal of Clinical Medicine, 9(6), 1856. https://doi.org/10.3390/jcm9061856
16. Kuang, W., Xu, J., Xu, F., Huang, W., Majid, M., Shi, H., Yuan, X., Ruan, Y. & Hu, X. (2024). Current study of pathogenetic mechanisms and therapeutics of chronic atrophic gastritis: a comprehensive review. Frontiers in Cell and Developmental Biology, 12:1513426. https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1513426
17. Manzoor, I., & Rasool, A. (2024). Comprehensive evaluation and management of chronic gastritis in a dog: A case report. Journal of Veterinary and Animal Sciences, 55(3), 670–674. https://doi.org/10.51966/jvas.2024.55.3.670-674

18. Manzoor, I., Soodan, J. S., Tikoo, A., Sharma, A., & Ahmed, J. A. (2024). Haemato-biochemical studies on chronic gastritis in dogs. Indian Journal of Veterinary Science and Biotechnology, 20(4), 124–128. https://doi.org/10.48165/ijvsbt.20.4.26
19. Morozenko, D., Vashchykv, Y., Kononenko, N., Zakhariev, A., Seliukova, N., Berezhnyi, D., Gliebova, G., & Chikitkina, V. (2022). Biochemical markers of connective tissue in the pathogenesis of gastroenteritis in dogs and cats. ScienceRise: Biological Science, (3(32), 13–18. https://doi.org/10.15587/2519-8025.2022.266240
20. Patel, P. K., Dixit, S. K., Kumar, A., Saxena, A. C., Verma, N. K., & Bhatt, T. S. (2020). Study of alteration in haemato-biochemical indices in canine gastritis. Haryana Veterinarian, 59, 87–89. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15882.62400
21. Rifiova, J.E., Schiborra ,F., Mäntylä Noble, P-J., Vigevani, N., Blundell, R.J., Guillem, J. (2024). CT findings in a dog with chronic giant hypertrophic gastritis: ménétrier-like disease. Vet Radiol Ultrasound, 65:844–848. https://doi.org/10.1111/vru.13437
22. Rugge, M., Genta, R. M., Malfertheiner, P., Dinis-Ribeiro, M., El-Serag, H., Graham, D. Y., Kuipers, E. J., Leung, W. K., Park, J. Y., Rokkas, T., Schulz, C., El-Omar, E. M., & RE.GA.IN. (2024). RE.GA.IN.: The Real-world Gastritis Initiative—Updating the updates, 73(3), 407–441. https://doi.org/10.1136/gutjnl-2023-331164
23. Sacoor, C., Barros, L.M., Montezinho, L. (2021). What are the potential biomarkers that should be considered in diagnosing and managing canine chronic inflammatory enteropathies? Open Vet Journal. 2021 Jan;10(4):412-430. https://doi.org/10.4314/ovj.v10i4.9
24. Taillieu, E., Chiers, K., Amorim, I. et al. Gastric Helicobacter species associated with dogs, cats and pigs: significance for public and animal health. Vet Res 53, 42 (2022). https://doi.org/10.1186/s13567-022-01059-4
25. Tollefson, C. R., Merkhassine, M., Duhamel, G. E., Chambers, B. M., & Miller, M. (2026). Ultrasonographic features of gastric mucosal hypertrophy in dogs receiving chronic omeprazole: a retrospective case series. Journal of the American Veterinary Medical Association (published online ahead of print 2026). Retrieved Jul 2, 2026, from https://doi.org/10.2460/javma.26.04.0297
26. Tom Biénès, Rodolfo Oliveira Leal, Marina Dominguez-Ruiz, Rodolfo Elvas De Carvalho, Nina Fernandes Rodrigues, Claire Dally, Jean-Charles Husson, Kevin Le Boedec, Juan Hernandez, Association of gastric lymphofollicular hyperplasia with Helicobacter-like organisms in dogs, Journal of Veterinary Internal Medicine, Volume 36, Issue 2, March 2022, Pages 515-524, https://doi.org/10.1111/jvim.16387

Стаття надійшла до редакції 12.07.2026
Стаття пройшла рецензування 09.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

UDC 636.8:591.59
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.05

Nina Dankevych,
Candidate of Veterinary Sciences,
Assistant of the Department of Surgery,
Obstetrics and Diseases of Small Animals
Odesa State Agrarian University,
Odesa, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-8927-5219
e-mail: dankevych82@gmail.com

VOCAL COMMUNICATION IN CATS

Abstract

Cats are enigmatic creatures, but they are by no means silent. They possess their own system of communication, and learning to understand it can help establish trust, strengthen the human–cat bond, and even facilitate meaningful interaction with a companion animal. Cats use vocal signals to express their emotional states. Meowing, purring, hissing, growling, and many other sounds constitute the feline vocal repertoire, with each vocalization conveying a specific meaning depending on the context. This article presents a literature review on feline vocal communication, the characteristics of the domestic cat's vocal repertoire, the functional significance of different vocalization types, and current approaches to the interpretation of acoustic signals in the context of behavior, emotional states, and animal welfare. Vocalization is an important component of communicative behavior in domestic cats. Environmental conditions have a substantial influence on vocal behavior; therefore, wild and domestic cats differ in their patterns of vocal communication. The feline vocal repertoire is extensive, and the literature describes numerous vocalization types used to attract attention, communicate needs (e.g., hunger or pain), and express emotional states. Vocalizations can be analyzed using a range of discrete acoustic parameters, including pitch, frequency modulation, amplitude, and structural characteristics. Despite the widespread distribution of domestic cats, their vocal behavior has been studied considerably less than that of several other domestic animal species. Contemporary studies demonstrate that the characteristics of meows and other vocalizations may reflect stress levels, physiological needs, health status, and the quality of the relationship between the cat and its owner. At the same time, the available scientific literature demonstrates that feline vocalizations are context-dependent communicative signals whose interpretation requires the integrated assessment of acoustic characteristics, behavioral expressions, and situational context. The study of feline vocalizations is of both theoretical importance for understanding the mechanisms of animal communication and practical significance for veterinary medicine, ethology, and the improvement of companion animal welfare. The review was based on a search of original scientific studies indexed in the international bibliographic databases Scopus and Web of Science, as well as publicly accessible electronic information resources, to identify and analyze evidence regarding feline communication, behavioral signals, emotional states, and methods for their assessment.

Key words: *Felis catus, vocalization, feline behavior, animal welfare, communication.*

Introduction

Despite considerable interest in the study of interspecific communication, only a limited number of studies have focused on the ability of domestic animals to interact and exchange signals with humans in the environment that became natural for them during the process of domestication - the human home [15].

For thousands of years, humans and cats have demonstrated mutual tolerance. The domestic cat (*Felis catus*) is one of the most widespread companion animals worldwide and maintains complex and diverse forms of interaction with humans. However, despite the close relationship between humans and cats, feline communication has been studied considerably less extensively than human - dog interactions [33].

Nevertheless, researchers continue to investigate the communicative behavior of these companion animals. Studies conducted over the past decade have advanced our understanding of cats' ability to recognize individual humans and their own names, as well as their use of multimodal signals during interactions with humans. Currently, research on feline vocal communication remains limited; only a small number of scientific studies have investigated how humans perceive and recognize cats' vocal signals. Public understanding of feline vocal communication remains insufficient, and these signals continue to be understudied despite their potential importance for veterinary care, animal welfare, and biodiversity conservation [22, 31].

Acoustic signals play an important role in the organization of animal behavior by enabling the transmission of rapidly changing and dynamic information over various distances. Cats possess one of the broadest vocal repertoires among domestic animals. Although cats are best known for their meowing, purring, hissing, and growling, the range of sounds they regularly produce is considerably more extensive. Depending on the context, cats can produce numerous types of trills and vocal sequences with subtle variations associated with their communicative intentions. Some vocalizations reflect positive emotional states, such as contentment and calmness, whereas others may indicate anxiety, fear, or aggression; however, all vocalizations provide information about the cat's emotional state [27, 29].

Vocalization is an effective means of expressing internal states and emotions and is closely associated with neural mechanisms responsible for emotional regulation in the brain. Feline vocalizations represent important indicators of emotional state that may be valuable for both veterinary professionals and animal owners. At the same time, accurate interpretation of vocal signals requires a thorough understanding of the characteristics of different types of vocalizations, as their misinterpretation may lead to an inaccurate assessment of an animal's condition and needs [1, 5].

Analysis of recent research and publications. In recent years, considerable research attention has been devoted to the study of the socio-cognitive abilities of domestic cats (*Felis catus*), particularly their capacity to interact with humans and employ various communicative strategies. Communication is considered one of the key processes underlying the establishment and maintenance of relationships between humans and companion animals. Current scientific evidence indicates that many

animal species are capable of effectively engaging in bidirectional communication with humans by adapting their behavior to the social environment [13].

Several lines of evidence support the existence of successful vocal communication between domestic cats and humans. These include: (1) the use of specific forms of meowing by domestic cats that are primarily directed toward human interaction; (2) the production of a distinctive type of purring when communicating with their owners, particularly in situations associated with feeding or soliciting attention; and (3) the ability of cats to discriminate between their owner's voice and the voices of unfamiliar individuals, indicating the presence of mechanisms for individual recognition of acoustic signals [19, 15].

Current research indicates that domestic cats use a wide range of vocal signals that serve diverse communicative functions. According to various estimates, cats are capable of producing more than 20–30 distinct types of vocalizations, including meows, purrs, growls, hisses, howls, chattering, and short greeting calls known as trills. Each of these vocal signals serves a specific communicative function and is produced depending on the animal's emotional state, motivation, physiological condition, and the social context in which the interaction occurs [7, 29]. Thus, feline vocal behavior represents a complex communication system that facilitates the transmission of information both between conspecifics and during interactions with humans.

Over the past decades, researchers specializing in animal behavior and psychology have conducted numerous acoustic observations and recordings aimed at analyzing and interpreting the vocal repertoire of domestic cats. One of the pioneering studies in this field was carried out by the American researcher Mildred Moelk and published in 1944. In her seminal work, Mildred Moelk conducted a comprehensive analysis of feline vocal behavior and proposed one of the first classification systems for cat vocalizations, identifying 16 major vocal categories associated with different behavioral and emotional contexts [16].

Subsequent studies have confirmed that the production of feline vocalizations is based on the function of the vocal apparatus, which includes the larynx, vocal folds, and the resonating cavities of the vocal tract. As in other mammals, sound is generated when airflow from the lungs passes through the vocal folds, after which its acoustic characteristics are modified by the oral cavity, tongue, lips, and other structures of the upper vocal tract. Acoustic analyses of feline vocalizations have demonstrated that parameters such as fundamental frequency, duration, and sound intensity vary according to the behavioral context and the animal's emotional state [3, 26].

At the same time, the process of sound production in cats has several distinctive features. Unlike humans, cats do not rely primarily on the tongue as the main articulatory organ for shaping vocal sounds. Instead, they modify the acoustic properties of their vocalizations by adjusting muscle tension in the oral cavity, larynx, lips, and nasal cavities. According to Mildred Moelk, cats are capable of producing a variety of vowel-like and consonant-like sound components by altering the position of the mouth and the resonance characteristics of the vocal tract. This enables them to

generate a diverse vocal repertoire that varies in frequency, duration, intensity, and emotional expression [16, 25].

Recent studies have also demonstrated that the vocal behavior of domestic cats is strongly influenced by their individual experience and living conditions. Cats that have lived in close contact with humans for extended periods generally use a greater variety of vocal signals than semi-feral or free-ranging cats. This difference is thought to be associated with the process of domestication and the adaptation of feline communicative behavior to interactions with humans. Furthermore, cats are capable of modifying the intonation, loudness, and duration of their meows in response to their owners' reactions, highlighting the remarkable plasticity of their communication system and their ability to adapt vocal signals to specific social contexts [9].

Another important area of contemporary research focuses on how humans perceive and interpret feline vocal signals. Despite the long history of human–cat coexistence, the ability of people to accurately recognize and interpret the meaning of cat vocalizations remains insufficiently understood. A better understanding of feline vocal communication has important practical implications for improving animal welfare, facilitating the early detection of stress and discomfort, and promoting more effective human–cat interactions.

The **aim** of the study was to analyze scientific literature concerning vocalization in domestic cats, summarize current knowledge regarding the types of vocal signals, their functions, mechanisms of production, and their role in communication with humans and other animals.

Presentation of the main research material. Evolution of vocalization in domestic cats. The domestic cat (*Felis catus*) represents one of the most successful examples of commensalism followed by domestication among animal species. For a long time, it was believed that the domestication of cats began in Ancient Egypt approximately in the second millennium BCE. However, modern archaeological and genetic studies indicate that this process started considerably earlier. One of the most important pieces of evidence is a human burial containing a cat, discovered on the island of Cyprus and dated to approximately 9500 years ago. Since cats were not native to Cyprus, it is believed that they were intentionally introduced by humans, suggesting that already established relationships between humans and cats existed at that time [6, 20].

Approximately 10,000–12,000 years ago, with the development of agriculture in the Near East, wild Near Eastern wildcats (*Felis silvestris lybica*) began to inhabit areas surrounding human settlements. Large grain stores attracted rodents, which in turn became a reliable food source for cats. This interaction was mutually beneficial: humans gained natural pest control, while cats obtained a stable source of food. Unlike dogs, which were actively selected by humans for specific tasks, the domestication of cats occurred primarily through natural selection, whereby individuals that were more tolerant of human presence gained advantages in survival and reproduction [20, 18].

During the domestication process, cats underwent not only morphological but also behavioral changes. One of the most important adaptations was the evolution of

vocal communication. Wild members of the Felidae family use vocal signals relatively infrequently. Most information is transmitted through scent marking, body posture, tail movements, ear position, and facial expressions. Vocal signals are primarily used in interactions between mothers and kittens or during the mating period [2].

Unlike wild felids, domestic cats have significantly expanded their use of vocal signals during interactions with humans. It is suggested that one of the reasons for this development was the emergence of the ability to adapt their communicative behavior to the human-created social environment. During domestication, individuals that were more tolerant of human presence and more effective at attracting human attention through vocal signals may have gained advantages in terms of access to resources, protection, and care. As a result, a specialized vocal communication system gradually evolved, specifically adapted for interactions with humans [19, 15].

Vocal signals of cats. Domestic cats possess a complex system of vocal signals that serves different communicative functions. It has been suggested that cats have two functionally distinct sets of vocal signals: one primarily adapted for communication with humans and another inherited from their wild ancestors and used mainly in interactions with other animals. Cats frequently rely on vocal signals to transmit information both to humans and to conspecifics. Through these signals, they can express a wide range of emotional states, from threat and defensive behavior to attention-seeking and social contact. Different situations are associated with specific types of vocalizations. The acoustic frequency of feline vocal signals can vary considerably, ranging from approximately 75 to 1520 Hz [29].

Cats use several mechanisms to produce vocal sounds. The vocal repertoire of domestic cats was described by Mildred Moelk (1944) as exceptionally diverse in terms of acoustic characteristics and behavioral patterns. These vocalizations may occur in various contexts and reflect the internal state, motivation, and emotional condition of the animal [16].

Vocalization is an important means of expressing the emotional state of an animal, as it is closely associated with neural mechanisms involved in emotional regulation. Therefore, vocal signals can serve as informative indicators of feline emotional states in veterinary practice and everyday animal care. However, accurate interpretation of these signals requires a comprehensive understanding of their acoustic characteristics and functional meanings [1].

There are situations when a cat's vocalizations may resemble those of birds. This commonly occurs when a cat observes birds through a window. Chattering, trilling, and chirping are closely related types of feline vocalizations. Cats may also produce these sounds while playing with toys or observing other household animals, such as hamsters [2, 8].

Chirping is a short, high-frequency vocalization produced by domestic cats that is primarily associated with positive social interactions, greeting behavior, maintaining contact with kittens, or attracting attention. In some situations, cats also produce similar interrupted vocalizations, commonly referred to as *chattering*, while observing potential prey. This behavior is thought to be associated with predatory arousal.

Chirping is acquired early in life, as mother cats frequently use this vocalization to attract the attention of their kittens. In adulthood, cats typically produce chirping sounds when they are highly focused on an object or event and may also use them to attract the attention of other individuals. Chirping may therefore indicate excitement, heightened interest, or anticipation [21].

Chirping vocalizations are often voiceless, meaning they are produced without vibration of the vocal folds. Feuerstein and Terkel (2008) described chirping as a short, high-frequency vocalization characterized by a rising pitch at the end. The term *chirping* was adopted because of its resemblance to the vocalizations of birds or the squeaks of rodents. These vocalizations may occur either as single calls or as a series of repeated sounds [8].

Thus, chirping is a specific high-frequency vocalization of domestic cats that serves an important communicative function and is used in various behavioral contexts. Its distinctive acoustic characteristics, together with its association with positive emotional states and exploratory behavior, indicate the important role of this vocalization in facilitating effective communication both between conspecifics and during interactions between cats and humans.

Chattering is a characteristic vocalization of domestic cats that is most commonly observed in the presence of potential prey, particularly birds and small rodents. This vocalization is produced through rapid, rhythmic, and repetitive movements of the lower jaw while the mouth remains partially open, resulting in a distinctive teeth-clicking sound. These vocal sequences are typically emitted in repeated series and may occur in combination with other vocalizations or variations of chatter that differ in duration, frequency, and intonation [26, 27].

The precise function of chattering remains a subject of scientific debate. One hypothesis suggests that this vocalization reflects a state of heightened predatory arousal and frustration when a cat observes potential prey but is unable to capture it. Other researchers propose that teeth chattering may represent a remnant of instinctive predatory behavior associated with preparation for the killing bite or may mimic sounds produced by prey. However, these hypotheses have not yet been conclusively confirmed by experimental evidence.

Chattering is most frequently observed when domestic cats watch birds through a window, small mammals, or other rapidly moving objects. It may also occur during play with toys that simulate prey, further supporting its close association with predatory motivation. The production of chattering is typically accompanied by a characteristic hunting posture in which the cat fixes its gaze on the target, directs its ears forward, tenses its body muscles, slowly moves its tail, or remains motionless immediately before a potential attack [27, 33].

Thus, chattering is regarded as a specific component of the predatory behavior of domestic cats, reflecting a high level of emotional arousal and readiness to capture prey. Although the biological significance of this vocalization has not yet been fully elucidated, most researchers associate it with evolutionarily conserved mechanisms of

hunting behavior that have been retained in domestic cats despite the process of domestication.

Hissing is an agonistic vocalization in domestic cats that serves as a warning signal in threatening situations and is associated with defensive behavior, fear, and an attempt to increase the distance from a perceived threat [26, 33].

Hissing is an innate, involuntary defensive response. It consists of a voiceless stream of air expelled through the mouth without vocal fold vibration and is triggered by the ventromedial hypothalamus when a cat perceives a threat. According to the 2024 AAFP Intercat Tension Guidelines, hissing is classified as a self-protective behavior. A hissing cat is attempting to increase its distance from a perceived threat rather than initiate a fight [34].

It is well recognized that when a cat begins to hiss, the safest response is to back away. Hissing is often followed by swatting or scratching if the perceived threat continues to approach. Hissing is a normal feline vocalization indicating that the cat is frightened, highly irritated, or feels threatened. It is typically accompanied by characteristic body language, including an arched back, piloerection (raised fur), flattened ears, and bared teeth [26].

Within the repertoire of normal feline vocalizations, hissing is never associated with a positive emotional state. However, the significance of hissing varies among individual cats. Some easygoing cats hiss only in extreme situations, whereas others with a lower threshold for defensive responses may hiss in reaction to even minor disturbances. For example, one cat may hiss merely upon detecting the scent of a dog in the next room, whereas another may not hiss until the dog has cornered or physically pinned it down. Cats may hiss at other animals, people, and even inanimate objects [34].

Growling is an agonistic vocalization in domestic cats that functions as a warning signal and is typically associated with defensive behavior, aggression, fear, or an attempt to maintain social distance. Unlike hissing, which is a brief defensive response, growling is a longer-lasting, low-frequency vocalization used to communicate a cat's willingness to defend itself, its resources, or its territory and to discourage further approach by a potential threat. Growling is a continuous voiced sound produced in the larynx through the involvement of the vocal folds and generally has a fundamental frequency of approximately 100–225 Hz. It reflects the maintenance of a heightened state of emotional arousal over a period of time and indicates that the perceived threat remains present [16, 26].

If the stimulus is not removed or continues to approach, growling may precede escalation of the conflict and transition to overt aggression, including swatting, biting, or chasing. In most cases, growling is accompanied by characteristic nonverbal signals, such as a tense body posture, fixed gaze, ears directed backward or flattened, increased muscle tension, piloerection (raised fur), and tail movements, all of which indicate a high level of emotional arousal. The primary function of growling is to avoid physical confrontation by warning the opponent of the potential consequences of further approach [34].

Purring is one of the most familiar and pleasant feline sounds, which cats can skillfully use to solicit food from their human caregivers; this response is likely associated with human sensory biases that develop during interactions with companion animals [19, 15]. It is a soothing vibration and humming-like sound produced by cats, particularly during positive interactions such as being stroked in preferred areas of the body. Many people find it rewarding when a cat jumps onto their lap and begins to purr, as this is commonly interpreted as a sign that the cat is relaxed and comfortable. However, purring may convey meanings beyond simple contentment [15].

Cats produce purring through the activation of laryngeal muscles controlled by a unique neural oscillator in the brain, which makes purring an important and versatile means of feline communication [12, 23]. Purring can occur simultaneously with other vocalizations. Dual-channel acoustic measurements have confirmed that the primary mechanism responsible for sound production and vibration is centrally controlled laryngeal modulation of respiratory airflow. The diaphragm and other muscles appear not to be essential for purring, except for their role in maintaining respiration [28].

Kittens begin producing purring sounds at an early age, particularly during nursing, when they suckle milk from their mother. This behavior helps maintain contact with the mother and may serve as a signal of the kitten's condition [17].

Cats may also purr when they want something. This solicitation purr has a somewhat different acoustic quality compared with the typical contentment purr that humans find pleasant. Hunger-related purring often sounds more urgent and includes a higher-frequency component; it may also be accompanied by plaintive meowing. In this way, cats attempt to communicate with humans by producing sounds that are likely to attract attention and elicit a response [11].

Understanding purring provides important information about a cat's emotional state, needs, and social behavior. However, purring alone does not always indicate contentment. In contemporary feline behavioral science, purring is considered a multifunctional vocalization whose meaning depends on the behavioral context, body language, and the specific situation.

Meowing is the most common type of vocalization directed toward humans and is used in a variety of everyday situations to convey emotional states. It may vary in character (e.g., solicitous, inquisitive, or irritated) and may be accompanied by corresponding postures or changes in facial expression [22]. Meowing represents one of the primary forms of communication between cats and humans. This form of communication has gradually developed during the evolutionary transition from the African wildcat to the domestic cats known today. Each cat's meow is somewhat individual and may become adapted to establish a unique communication system between the cat and its owner [19].

Some types of meowing are produced by cats in response to specific species-typical or physiological states, including agonistic interactions, intense emotional arousal, or reproductive behavior in females during estrus. Other types of meowing demonstrate greater variability in acoustic parameters and may acquire a prolonged, melodic quality resembling the intonational patterns of human speech, particularly in

cats that maintain close social contact with humans. Domestic cats are capable of modifying the characteristics of their vocalizations depending on the nature of their interactions with humans and the responses they receive to their communicative signals. The frequency with which meowing is used as a means of communication may increase when this behavior is consistently reinforced by human attention or appropriate responses from the owner. Furthermore, prolonged experience interacting with cats may enhance humans' ability to accurately interpret the animal's emotional state, including the recognition of specific affective states based on the acoustic characteristics of vocalizations [14].

However, not all cats are equally inclined to communicate through meowing. Individual differences in vocal behavior may be influenced by genetic and breed-related factors. Siamese cats, for example, are widely recognized as particularly vocal [2]. At the same time, people who choose this breed often expect a more interactive form of communication and may therefore be more likely to encourage and maintain vocal exchanges with their cats [30].

It is also possible that if a cat predominantly uses vocal signals during interactions with humans, its kittens may be more likely to adopt similar communicative patterns. This may be associated with early social experience, as maternal vocalizations contribute to the development of kittens' auditory perception and may serve as a model for early communicative behavior [30].

The «contentment purr» is associated with positive social interactions and may reflect affiliative relationships between a cat and its owner, as well as between a queen and her kittens. This type of vocalization may also occur when a dominant adult cat approaches a younger cat with affiliative intentions, and vice versa. This familiar and soothing sound functions as a social signal indicating a non-threatening state and supporting affiliative interactions among individuals [16, 30].

Of particular interest is the so-called «solicitation purr», which combines typical purring with high-frequency components resembling the cry of a human infant. Such acoustic features make the signal more effective in attracting human attention and eliciting a rapid behavioral response. It has been suggested that during domestication, cats have evolutionarily adapted certain vocal signals to the characteristics of human auditory perception and social responsiveness [15].

Caterwauling refers to a prolonged, loud, and often harsh feline vocalization that differs from a typical meow in terms of duration, intensity, and acoustic structure. This type of vocalization may serve different communicative functions depending on the context in which it occurs [3].

Caterwauling is most commonly observed during reproductive behavior in intact male and female cats, particularly during periods of sexual activity, when it may facilitate the attraction of potential mates and convey information about the animal's reproductive status. In addition, similar prolonged vocal signals may occur during agonistic interactions between cats, functioning as warning signals, expressions of social tension, or mechanisms for maintaining distance between individuals [16, 30].

Unlike short vocalizations associated with immediate responses to specific stimuli, caterwauling represents a more sustained signal that may reflect a state of heightened emotional arousal, frustration, territorial tension, or social motivation. In domestic cats, the appearance of unusual or frequent caterwauling may also be associated with changes in physical condition, age-associated changes, stress, or discomfort; therefore, it should be evaluated within the context of the animal's overall behavior and health status [2].

The functional meaning of caterwauling cannot be determined solely by the sound itself but depends on accompanying body language, situational context, and individual characteristics of the cat. Accurate interpretation of this vocalization requires consideration of body posture, tail movements, ear position, activity level, and the nature of interactions with other animals or humans [30].

Pain-related vocalization (pain cry) is a vocalization associated with painful experiences that may manifest as sharp cries, prolonged sounds, or other vocal signals of distress [2, 16]. Assessing pain in cats can be challenging because they often conceal signs of discomfort, and vocalization typically occurs in response to intense or acute painful stimuli [27, 16].

A pain cry is a short, intense vocalization characterized by a widely opened mouth, increased muscle tension, and forceful expiration. It is distinguished by high intensity, a harsh acoustic quality, an increased fundamental frequency, and short duration. Such vocalizations usually occur in response to acute painful stimuli, during physical fights between cats, or in situations involving sudden injury [16].

Unlike agonistic vocalizations, such as hissing or growling, which primarily serve a warning function and promote an increase in distance between individuals, a pain cry is an involuntary response to an aversive stimulus and indicates physical distress. It may be accompanied by behavioral changes, including avoidance of contact, defensive postures, reduced activity, body tension, or aggressive responses when the painful area is touched [34].

In her fundamental study of domestic cat vocalizations, Mildred Moelk (1944) described the pain cry as a distinct functional category of vocalization associated with acute negative experiences. However, in modern veterinary practice, pain assessment in cats is based not solely on vocalization but on a comprehensive evaluation of behavioral, physiological, and facial indicators of pain [16].

Conclusions and prospects for further research. Although research on feline vocal communication has expanded in recent years, many aspects of this communication system remain poorly understood. Earlier views often characterized cats as relatively less vocal animals compared with dogs; however, current findings demonstrate that domestic cats possess a diverse and context-dependent vocal repertoire. Further research is therefore required to clarify how cats produce and utilize acoustic signals across different behavioral situations. In particular, the processes involved in the perception and interpretation of vocal signals exchanged between cats remain incompletely understood and represent an important direction for future investigations.

Thus, feline vocal communication represents a complex and multifunctional system that plays an important role in various aspects of cat behavior. Acoustic signals enable cats to interact with other individuals, express emotional states, respond to external stimuli, and regulate social interactions. The diversity of feline vocalizations reflects the high adaptability of their communicative system and demonstrates that cats' capacity for acoustic communication is considerably more complex than previously assumed. Further investigation of feline vocalizations may contribute to a deeper understanding of animal behavior, improve human–cat interactions, and enhance the quality of care provided to domestic cats.

Автор підтверджує відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

References

1. Banszegi, O., Szenczi, P., Urrutia, A., & Hudson, R. (2017). Conflict or consensus? Synchronous change in mother–young vocal communication across weaning in the cat. Animal Behaviour, 130, 233-240. https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2017.06.025
2. Bradshaw J. (2018). Normal feline behaviour: … and why problem behaviours develop. *Journal of feline medicine and surgery*, *20*(5), 411–421. https://doi.org/10.1177/1098612X18771203
3. Brown, K. A., Buchwald, J. S., Johnson, J. R., & Mikolich, D. J. (1978). Vocalization in the cat and kitten. *Developmental psychobiology*, *11*(6), 559–570. https://doi.org/10.1002/dev.420110605
4. de Mouzon, C., Gonthier, M., & Leboucher, G. (2023). Correction: Discrimination of cat-directed speech from human-directed speech in a population of indoor companion cats (*Felis catus*). *Animal Cognition, 26*(2), 621. https://doi.org/10.1007/s10071-022-01732-3
5. Deputte, B. L., Jumelet, E., Gilbert, C., & Titeux, E. (2021). Heads and Tails: An Analysis of Visual Signals in Cats, *Felis catus*. *Animals : an open access journal from MDPI*, *11*(9), 2752. https://doi.org/10.3390/ani11092752
6. Driscoll, C. A., Macdonald, D. W., & O'Brien, S. J. (2009). From wild animals to domestic pets, an evolutionary view of domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106 Suppl 1*(Suppl 1), 9971–9978. https://doi.org/10.1073/pnas.0901586106
7. Ellis, S. L., Rodan, I., Carney, H. C., Heath, S., Rochlitz, I., Shearburn, L. D., Sundahl, E., & Westropp, J. L. (2013). AAFP and ISFM feline environmental needs guidelines. Journal of feline medicine and surgery, 15(3), 219–230. https://doi.org/10.1177/1098612X13477537
8. Feuerstein, N. L., & Terkel, J. (2008). Interrelationships of dogs (Canis familiaris) and cats (Felis catus L.) living under the same roof. Applied Animal Behaviour Science, 113(1-3), 150-165. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.10.010
9. Foreman-Worsley, R., & Farnworth, M. J. (2019). A systematic review of social and environmental factors and their implications for indoor cat welfare. *Applied Animal Behaviour Science, 220,* Article 104841. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104841
10. Fukimoto, N., Albuquerque, N., & Savalli, C. (2026). Vocal signals produced by the domestic cat (*Felis silvestris catus*) in highly motivating contexts. *Journal of Comparative Psychology, 140*(1), 71–80. https://doi.org/10.1037/com0000418
11. Grace, S. F. (2026). Purring. In L. D. Keel & L. R. Drylewicz (Eds.), *The Feline Patient* (6th ed.). John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781394218035.ch306
12. Herbst, C. T., Prigge, T., Garcia, M., Hampala, V., Hofer, R., Weissengruber, G. E., Svec, J. G., & Fitch, W. T. (2023). Domestic cat larynges can produce purring frequencies without neural input. *Current Biology, 33*(21), 4727–4732.e4. https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.09.014

13. Jardat, P., & Lansade, L. (2022). Cognition and the human–animal relationship: a review of the sociocognitive skills of domestic mammals toward humans. *Animal Cognition*, *25*(2), 369-384. https://doi.org/10.1007/s10071-021-01557-6
14. Ludovico, L.A., Ntalampiras, S., Presti, G., Cannas, S., Battini, M., Mattiello, S. (2021). CatMeows: A Publicly-Available Dataset of Cat Vocalizations. In: Lokoč, J., *et al.* MultiMedia Modeling. MMM 2021. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12573. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67835-7_20
15. McComb, K., Taylor, A. M., Wilson, C., & Charlton, B. D. (2009). The cry embedded within the purr. *Current Biology, 19*(13), R507–R508. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.05.033
16. Moelk, M. (1944). Vocalizing in the house-cat; a phonetic and functional study. *The American Journal of Psychology*, *57*(2), 184-205 https://doi.org/10.2307/1416947
17. Moelk, M. (1979). The development of friendly approach behavior in the cat: A study of kitten-mother relations and the cognitive development of the kitten from birth to eight weeks. In Advances in the Study of Behavior (Vol. 10, pp. 163-224). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0065-3454(08)60095-9
18. Montague, M. J., Li, G., Gandolfi, B., Khan, R., Aken, B. L., Searle, S. M., Minx, P., Hillier, L. W., Koboldt, D. C., Davis, B. W., Driscoll, C. A., Barr, C. S., Blackistone, K., Quilez, J., Lorente-Galdos, B., Marques-Bonet, T., Alkan, C., Thomas, G. W., Hahn, M. W., Menotti-Raymond, M., … Warren, W. C. (2014). Comparative analysis of the domestic cat genome reveals genetic signatures underlying feline biology and domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *111*(48), 17230–17235. https://doi.org/10.1073/pnas.1410083111
19. Nicastro, N., & Owren, M. J. (2003). Classification of domestic cat (Felis catus) vocalizations by naive and experienced human listeners. *Journal of comparative psychology (Washington, D.C. : 1983)*, *117*(1), 44–52. https://doi.org/10.1037/0735-7036.117.1.44
20. Ottoni, C., Van Neer, W., De Cupere, B., Daligault, J., Guimaraes, S., Peters, J., Spassov, N., Prendergast, M. E., Boivin, N., Morales-Muniz, A., Balasescu, A., Becker, C., Benecke, N., Boroneant, A., Buitenhuis, H., Chahoud, J., Crowther, A., Llorente, L., Manaseryan, N., ... Geigl, E.-M. (2017). The paleogenetics of cat dispersal in the ancient world. *Nature Ecology & Evolution, 1*(7), Article 0139. https://doi.org/10.1038/s41559-017-0139
21. Prager, K., Brunod, G., Mengarelli, A., & Stoeger, A. S. (2026). Form and function of acoustic communication in the Felidae - a systematic review and conservation outlook. *Bioacoustics*, *35*(3), 341–378. https://doi.org/10.1080/09524622.2026.2648721
22. Prato-Previde, E., Cannas, S., Palestrini, C., Ingraffia, S., Battini, M., Ludovico, L. A., Ntalampiras, S., Presti, G., & Mattiello, S. (2020). What's in a Meow? A Study on Human Classification and Interpretation of Domestic Cat Vocalizations. *Animals : an open access journal from MDPI*, *10*(12), 2390. https://doi.org/10.3390/ani10122390
23. Remmers, J. E., & Gautier, H. (1972). Neural and mechanical mechanisms of feline purring. *Respiration physiology*, *16*(3), 351–361. https://doi.org/10.1016/0034-5687(72)90064-3
24. Sandøe, P., Palmer, C., Corr, S. A., Springer, S., & Lund, T. B. (2023). *Do people really care less about their cats than about their dogs? A comparative study in three European countries*. *Frontiers in Veterinary Science, 10*, 1237547. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1237547
25. Scheumann, M., Roser, A. E., Konerding, W., Bleich, E., Hedrich, H. J., & Zimmermann, E. (2012). Vocal correlates of sender-identity and arousal in the isolation calls of domestic kitten (Felis silvestris catus). *Frontiers in zoology*, *9*(1), 36. https://doi.org/10.1186/1742-9994-9-36
26. Schötz, S. (2025). Vocal communication in domestic cats. In Reference Module in Social Sciences. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95504-1.00304-5
27. Schötz, S. (2013). A phonetic pilot study of chirp, chatter, tweet and tweedle in three domestic cats. In R. Eklund (Ed.), *[Host publication title missing]* (pp. 65-68). Linköping University. https://lup.lub.lu.se/search/publication/4252033?utm_source=chatgpt.com

28. Sissom, D. E. F., Rice, D. A., & Peters, G. (1991). How cats purr. *Journal of Zoology, 223*(1), 67–78. https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1991.tb04749.x
29. Tavernier, C., Ahmed, S., Houpt, K. A., & Yeon, S. C. (2020). Feline vocal communication. *Journal of veterinary science*, *21*(1), e18. https://doi.org/10.4142/jvs.2020.21.e18
30. Turner, D. C., & Bateson, P. (Eds.). (2000). The domestic cat: The biology of its behaviour (2nd ed.). Cambridge University Press.
31. van Toor, A., Qazi, N., & Paladini, S. (2025). A deep learning pipeline for age prediction from vocalisations of the domestic feline. *Scientific reports*, *15*(1), 34565. https://doi.org/10.1038/s41598-025-17986-z
32. Vitale Shreve, K. R., & Udell, M. A. (2015). What's inside your cat's head? A review of cat (Felis silvestris catus) cognition research past, present and future. *Animal cognition*, *18*(6), 1195–1206. https://doi.org/10.1007/s10071-015-0897-6
33. Yeon, S. C., & Kim, Y. K. (2020). Feline vocal communication. *Journal of Veterinary Science, 21*(1), e18. https://doi.org/10.4142/jvs.2020.21.e18
34. Rodan, I., Ramos, D., Carney, H., DePorter, T., Horwitz, D. F., Mills, D., & Vitale, K. (2024). 2024 AAFP intercat tension guidelines: recognition, prevention and management. *Journal of feline medicine and surgery*, *26*(7), 1098612X241263465. https://doi.org/10.1177/1098612X241263465

Ніна Данкевич,
кандидат ветеринарних наук,
асистент кафедри хірургії,
акушерства та хвороб дрібних тварин
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна
ORCID ID: 0000-0001-8927-5219
e-mail: dankevych82@gmail.com

ГОЛОСОВА КОМУНІКАЦІЯ КОТІВ

Анотація

Кішки - загадкові істоти, але аж ніяк не мовчазні. У них є своя мова, і якщо навчитися її розуміти, можна налагодити довірливий контакт, зміцнити стосунки й навіть «поговорити» з улюбленцем. Кішки використовують голос для вираження емоцій. Нявкання, муркотіння, шипіння, гарчання та багато інших звуків складають котячий «репертуар», і кожен звук має особливе значення залежно від контексту. У статті представлено огляд літератури з питань вокальної комунікації домашніх кішок, особливостей їхнього вокального репертуару, функціонального значення різних типів вокалізацій, а також сучасних підходів до інтерпретації звукових сигналів у контексті поведінки, емоційних станів і добробуту тварин.Вокалізація домашніх кішок є важливим аспектом їхньої комунікативної поведінки. Навколишнє середовище має значний вплив на вокальну поведінку, тому дикі та домашні коти вокалізують по-різному. Вокальний репертуар кішки є широким, і в літературі описано різні типи вокалізацій, які використовуються для привернення уваги, висловлення своїх потреб (голод, біль) або емоцій. Вокалізацію можна ретельно проаналізувати та розкласти на низку дискретних змінних (висота тону, частотна модуляція, гучність та структура). Незважаючи на широке поширення домашніх кішок, особливості їхньої вокальної поведінки вивчені значно менше, ніж у деяких інших домашніх тварин. Сучасні дослідження показують, що характеристики нявкання та інших звуків можуть відображати рівень стресу, потреби тварини, стан здоров'я та особливості взаємовідносин із власником.У той же час, літературні джерела доводять, що вокалізації котів є контекстозалежними комунікативними сигналами, інтерпретація яких потребує комплексного врахування акустичних характеристик, поведінкових проявів і ситуаційного контексту. Вивчення

вокалізації котів має не тільки теоретичне значення для розуміння механізмів комунікації тварин, а й практичну цінність для ветеринарної медицини, етології та підвищення добробуту домашніх тварин. Для дослідження було проведено пошук оригінальних наукових досліджень у міжнародних наукометричних базах даних Scopus і Web of Science, а також у відкритих електронних інформаційних ресурсах мережі Інтернет з метою виявлення та аналізу доказових даних щодо комунікації кішок, поведінкових сигналів, емоційних станів і методів їх оцінки.
Ключові слова: *Felis catus, вокалізація, поведінка кішки, добробут тварин, комунікація*

Список використаної літератури

1. Banszegi, O., Szenczi, P., Urrutia, A., & Hudson, R. (2017). Conflict or consensus? Synchronous change in mother–young vocal communication across weaning in the cat. Animal Behaviour, 130, 233-240. https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2017.06.025
2. Bradshaw J. (2018). Normal feline behaviour: … and why problem behaviours develop. *Journal of feline medicine and surgery*, *20*(5), 411–421. https://doi.org/10.1177/1098612X18771203
3. Brown, K. A., Buchwald, J. S., Johnson, J. R., & Mikolich, D. J. (1978). Vocalization in the cat and kitten. *Developmental psychobiology*, *11*(6), 559–570. https://doi.org/10.1002/dev.420110605
4. de Mouzon, C., Gonthier, M., & Leboucher, G. (2023). Correction: Discrimination of cat-directed speech from human-directed speech in a population of indoor companion cats (*Felis catus*). *Animal Cognition, 26*(2), 621. https://doi.org/10.1007/s10071-022-01732-3
5. Deputte, B. L., Jumelet, E., Gilbert, C., & Titeux, E. (2021). Heads and Tails: An Analysis of Visual Signals in Cats, *Felis catus*. *Animals : an open access journal from MDPI*, *11*(9), 2752. https://doi.org/10.3390/ani11092752
6. Driscoll, C. A., Macdonald, D. W., & O'Brien, S. J. (2009). From wild animals to domestic pets, an evolutionary view of domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106 Suppl 1*(Suppl 1), 9971–9978. https://doi.org/10.1073/pnas.0901586106
7. Ellis, S. L., Rodan, I., Carney, H. C., Heath, S., Rochlitz, I., Shearburn, L. D., Sundahl, E., & Westropp, J. L. (2013). AAFP and ISFM feline environmental needs guidelines. Journal of feline medicine and surgery, 15(3), 219–230. https://doi.org/10.1177/1098612X13477537
8. Feuerstein, N. L., & Terkel, J. (2008). Interrelationships of dogs (Canis familiaris) and cats (Felis catus L.) living under the same roof. Applied Animal Behaviour Science, 113(1-3), 150-165. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.10.010
9. Foreman-Worsley, R., & Farnworth, M. J. (2019). A systematic review of social and environmental factors and their implications for indoor cat welfare. *Applied Animal Behaviour Science, 220,* Article 104841. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104841
10. Fukimoto, N., Albuquerque, N., & Savalli, C. (2026). Vocal signals produced by the domestic cat (*Felis silvestris catus*) in highly motivating contexts. *Journal of Comparative Psychology, 140*(1), 71–80. https://doi.org/10.1037/com0000418
11. Grace, S. F. (2026). Purring. In L. D. Keel & L. R. Drylewicz (Eds.), *The Feline Patient* (6th ed.). John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781394218035.ch306
12. Herbst, C. T., Prigge, T., Garcia, M., Hampala, V., Hofer, R., Weissengruber, G. E., Svec, J. G., & Fitch, W. T. (2023). Domestic cat larynges can produce purring frequencies without neural input. *Current Biology, 33*(21), 4727–4732.e4. https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.09.014
13. Jardat, P., & Lansade, L. (2022). Cognition and the human–animal relationship: a review of the sociocognitive skills of domestic mammals toward humans. *Animal Cognition*, *25*(2), 369-384. https://doi.org/10.1007/s10071-021-01557-6

14. Ludovico, L.A., Ntalampiras, S., Presti, G., Cannas, S., Battini, M., Mattiello, S. (2021). CatMeows: A Publicly-Available Dataset of Cat Vocalizations. In: Lokoč, J., *et al.* MultiMedia Modeling. MMM 2021. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12573. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67835-7_20
15. McComb, K., Taylor, A. M., Wilson, C., & Charlton, B. D. (2009). The cry embedded within the purr. *Current Biology, 19*(13), R507–R508. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.05.033
16. Moelk, M. (1944). Vocalizing in the house-cat; a phonetic and functional study. *The American Journal of Psychology*, *57*(2), 184-205 https://doi.org/10.2307/1416947
17. Moelk, M. (1979). The development of friendly approach behavior in the cat: A study of kitten-mother relations and the cognitive development of the kitten from birth to eight weeks. In Advances in the Study of Behavior (Vol. 10, pp. 163-224). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0065-3454(08)60095-9
18. Montague, M. J., Li, G., Gandolfi, B., Khan, R., Aken, B. L., Searle, S. M., Minx, P., Hillier, L. W., Koboldt, D. C., Davis, B. W., Driscoll, C. A., Barr, C. S., Blackistone, K., Quilez, J., Lorente-Galdos, B., Marques-Bonet, T., Alkan, C., Thomas, G. W., Hahn, M. W., Menotti-Raymond, M., … Warren, W. C. (2014). Comparative analysis of the domestic cat genome reveals genetic signatures underlying feline biology and domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *111*(48), 17230–17235. https://doi.org/10.1073/pnas.1410083111
19. Nicastro, N., & Owren, M. J. (2003). Classification of domestic cat (Felis catus) vocalizations by naive and experienced human listeners. *Journal of comparative psychology (Washington, D.C. : 1983)*, *117*(1), 44–52. https://doi.org/10.1037/0735-7036.117.1.44
20. Ottoni, C., Van Neer, W., De Cupere, B., Daligault, J., Guimaraes, S., Peters, J., Spassov, N., Prendergast, M. E., Boivin, N., Morales-Muniz, A., Balasescu, A., Becker, C., Benecke, N., Boroneant, A., Buitenhuis, H., Chahoud, J., Crowther, A., Llorente, L., Manaseryan, N., ... Geigl, E.-M. (2017). The paleogenetics of cat dispersal in the ancient world. *Nature Ecology & Evolution, 1*(7), Article 0139. https://doi.org/10.1038/s41559-017-0139
21. Prager, K., Brunod, G., Mengarelli, A., & Stoeger, A. S. (2026). Form and function of acoustic communication in the Felidae - a systematic review and conservation outlook. *Bioacoustics*, *35*(3), 341–378. https://doi.org/10.1080/09524622.2026.2648721
22. Prato-Previde, E., Cannas, S., Palestrini, C., Ingraffia, S., Battini, M., Ludovico, L. A., Ntalampiras, S., Presti, G., & Mattiello, S. (2020). What's in a Meow? A Study on Human Classification and Interpretation of Domestic Cat Vocalizations. *Animals : an open access journal from MDPI*, *10*(12), 2390. https://doi.org/10.3390/ani10122390
23. Remmers, J. E., & Gautier, H. (1972). Neural and mechanical mechanisms of feline purring. *Respiration physiology*, *16*(3), 351–361. https://doi.org/10.1016/0034-5687(72)90064-3
24. Sandøe, P., Palmer, C., Corr, S. A., Springer, S., & Lund, T. B. (2023). *Do people really care less about their cats than about their dogs? A comparative study in three European countries*. *Frontiers in Veterinary Science, 10*, 1237547. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1237547
25. Scheumann, M., Roser, A. E., Konerding, W., Bleich, E., Hedrich, H. J., & Zimmermann, E. (2012). Vocal correlates of sender-identity and arousal in the isolation calls of domestic kitten (Felis silvestris catus). *Frontiers in zoology*, *9*(1), 36. https://doi.org/10.1186/1742-9994-9-36
26. Schötz, S. (2025). Vocal communication in domestic cats. In Reference Module in Social Sciences. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95504-1.00304-5
27. Schötz, S. (2013). A phonetic pilot study of chirp, chatter, tweet and tweedle in three domestic cats. In R. Eklund (Ed.), *[Host publication title missing]* (pp. 65-68). Linköping University. https://lup.lub.lu.se/search/publication/4252033?utm_source=chatgpt.com
28. Sissom, D. E. F., Rice, D. A., & Peters, G. (1991). How cats purr. *Journal of Zoology, 223*(1), 67–78. https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1991.tb04749.x
29. Tavernier, C., Ahmed, S., Houpt, K. A., & Yeon, S. C. (2020). Feline vocal communication. *Journal of veterinary science*, *21*(1), e18. https://doi.org/10.4142/jvs.2020.21.e18

30. Turner, D. C., & Bateson, P. (Eds.). (2000). The domestic cat: The biology of its behaviour (2nd ed.). Cambridge University Press.
31. van Toor, A., Qazi, N., & Paladini, S. (2025). A deep learning pipeline for age prediction from vocalisations of the domestic feline. *Scientific reports*, *15*(1), 34565. https://doi.org/10.1038/s41598-025-17986-z
32. Vitale Shreve, K. R., & Udell, M. A. (2015). What's inside your cat's head? A review of cat (Felis silvestris catus) cognition research past, present and future. *Animal cognition*, *18*(6), 1195–1206. https://doi.org/10.1007/s10071-015-0897-6
33. Yeon, S. C., & Kim, Y. K. (2020). Feline vocal communication. *Journal of Veterinary Science, 21*(1), e18. https://doi.org/10.4142/jvs.2020.21.e18
34. Rodan, I., Ramos, D., Carney, H., DePorter, T., Horwitz, D. F., Mills, D., & Vitale, K. (2024). 2024 AAFP intercat tension guidelines: recognition, prevention and management. *Journal of feline medicine and surgery*, *26*(7), 1098612X241263465. https://doi.org/10.1177/1098612X241263465

Стаття надійшла до редакції 12.07.2026
Стаття пройшла рецензування 09.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

УДК 636.5.033:636.087:591.3
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.06

Руслан Дубін,
кандидат ветеринарних наук, доцент,
доцент кафедри внутрішніх хворб тварин та клінічної діагностики,
Одеський державний аграрний університет,
Одеса, Україна
ORCID ID: 0000-0003-3540-0816
e-mail: dubinruslan1@gmail.com

Ірина Попова,
кандидат ветеринарних наук, доцент,
доцент кафедри Інфекційної патології,
біобезпеки та ветеринарно-санітарного інспектування
ім. професора В. Я. Атамася,
Одеський державний аграрний університет,
Одеса, Україна,
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9942-0464
e-mail sirikpopova78@gmail.com

Сергій Улизько
кандидат ветеринарних наук, доцент,
доцент кафедри внутрішніх хворб тварин та клінічної діагностики,
Одеський державний аграрний університет, Одеса, Україна
ORCID ID:https://orcid.org/0000-0003-1160-5657
e-mail: sauce1908@gmail.com

ВПЛИВ ВНУТРІШНЬОЯЙЦЕВОГО ВВЕДЕННЯ НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА (*AgNP*) НА ЕМБРІОНАЛЬНИЙ РОЗВИТОК, ПРОДУКТИВНІСТЬ, АНТИОКСИДАНТНИЙ ТА ІМУННИЙ СТАТУС БРОЙЛЕРІВ

Анотація

У дослідженні вивчено дозозалежний вплив внутрішньояйцевого введення наночастинок срібла (AgNP) на ембріональний розвиток, показники виводимості, ріст, а також фізіологічний, біохімічний, антиоксидантний та імунний статус бройлерів. Експеримент проведено з використанням різних концентрацій AgNP із подальшою оцінкою продуктивних та метаболічних показників у постнатальному періоді. Встановлено, що AgNP сприяють підвищенню виводимості та зниженню ембріональної смертності. Найкращі показники росту (маса тіла, приріст, конверсія корму) спостерігалися при дозі 15 мг/л. Дослідження також виявило позитивний вплив наночастинок срібла на

гематологічні та біохімічні показники крові, зокрема підвищення рівнів гемоглобіну, гематокриту та гормону росту. Окрім цього, AgNP покращували ліпідний профіль сироватки (зниження ЛПНЩ і тригліцеридів, підвищення ЛПВЩ), активували антиоксидантну систему (СОД, каталаза, загальна антиоксидантна активність) та підвищували експресію білка теплового шоку HSP70. Імунологічні показники також зазнали позитивних змін, що проявлялося у підвищенні активності лізоциму та рівнів цитокінів (IL-1β, IFN-γ, IL-10, C3). Отримані результати свідчать про виражений біостимулюючий ефект AgNP при оптимальних дозах та їх потенціал для підвищення продуктивності та стресостійкості бройлерів у птахівництві. Водночас встановлено дозозалежний характер дії, що потребує подальшої оптимізації застосування наночастинок.

Ключові слова *наночастинки срібла; AgNP; внутрішньояйцеве введення; бройлери; виводимість; ріст; антиоксидантний статус; імунітет; HSP70; ліпідний обмін; птахівництво*

Вступ Птахівництво є одним із ключових підсекторів світового сільського господарства та важливим джерелом високоякісного тваринного білка. Сучасний розвиток галузі характеризується активним впровадженням інноваційних технологій, спрямованих на підвищення ефективності виробництва та біологічної безпеки продукції. Одним із критичних етапів, що визначає подальшу продуктивність птиці, є період інкубації та раннього постнатального розвитку [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Після вилуплення курчата проходять складний метаболічний перехід від ендогенного живлення за рахунок жовтка до споживання екзогенних кормів. У промислових умовах цей перехід часто ускладнюється затримкою доступу до корму і води, яка може тривати 24–36 годин, що негативно впливає на ріст, розвиток травної системи та формування імунної відповіді [3, 4].

У цей період організм курчат змушений використовувати внутрішні резерви, що може обмежувати їхній подальший продуктивний потенціал. З метою мінімізації негативного впливу раннього голодування значна увага приділяється технології внутрішньояйцевого введення (*in ovo feeding*), яка дозволяє покращити поживний статус ембріона ще до вилуплення. Доведено, що ця технологія сприяє розвитку шлунково-кишкового тракту, підвищує ефективність засвоєння поживних речовин і покращує імунологічні показники [5, 6].

Останніми роками значного розвитку набули нанотехнології, які відкривають нові можливості у галузі годівлі та фізіології сільськогосподарських тварин. Наночастинки завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, зокрема малому розміру та великій площі поверхні, характеризуються підвищеною біодоступністю та здатністю впливати на біологічні системи на клітинному рівні [7, 8].

Серед різних типів наноматеріалів особливий інтерес становлять наночастинки срібла (*AgNPs*), які проявляють виражені антимікробні, протизапальні та імуномодулюючі властивості. Їх застосування у птахівництві пов'язане з потенційною здатністю модулювати кишкову мікробіоту, покращувати імунний статус та оптимізувати використання поживних речовин [9, 10].

Попередні дослідження показали, що внутрішньояйцеве введення *AgNPs* може позитивно впливати на ембріональний розвиток, показники вилуплення та імунологічні реакції у птиці. Зокрема, встановлено посилення клітинної імунної відповіді, покращення морфофункціонального стану тканин і активацію факторів росту, пов'язаних із розвитком м'язової тканини [11-13]. Водночас питання безпечності, оптимальних доз та довгострокових ефектів застосування *AgNPs* залишаються недостатньо вивченими, особливо в аспекті залежності «доза–ефект» та системних фізіологічних змін у постнатальний період.

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю комплексної оцінки впливу внутрішньояйцевого введення наночастинок срібла на продуктивні та фізіологічні показники бройлерів.

Метою наших досліджень була оцінка впливу внутрішньояйцевого введення наночастинок срібла (*AgNPs*) у різних концентраціях на виводимість, показники росту та фізіологічний стан бройлерів.

Матеріали і методи дослідження Дослідження виконано на базі кафедри внутрішніх хвороб тварин та клінічної діагностики Одеського державного аграрного університету (м. Одеса, Україна) із залученням навчально-наукової лабораторії. Дослідження з тваринами проведено відповідно до вимог Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та інших наукових цілей (ETS No. 123).

Наночастинки срібла (*AgNPs*) були придбані у вітчизняного виробника — ТОВ «Наноматеріали і нанотехнології» (Україна) у вигляді колоїдної суспензії, стабілізованої цитратом натрію. Відповідно до сертифіката якості виробника, наночастинки мали переважно сферичну морфологію із середнім гідродинамічним діаметром 20 ± 5 нм та вихідну концентрацію 1 мг/мл. Розподіл частинок за розмірами та їх колоїдну стабільність було підтверджено методом динамічного розсіювання світла (DLS) та електронної мікроскопії. Перед використанням вихідну суспензію розводили стерильним 0,9 % розчином натрію хлориду (виробництва українського фармацевтичного підприємства) до отримання робочих концентрацій 10, 15 та 20 мг/л відповідно до експериментального дизайну. Усі робочі розчини готували в асептичних умовах безпосередньо перед застосуванням для забезпечення стабільності наночастинок та відтворюваності результатів.

У досліді використано 300 запліднених яєць бройлерів кросу *Cobb500* (середня маса 63 ± 2,2 г), отриманих із сертифікованого птахогосподарства Одеської області. Яйця походили від одного батьківського стада (вік 45–48 тижнів), що дозволило мінімізувати варіабельність, пов'язану з генетичними та

фізіологічними факторами. Після збору яйця зберігали при температурі 14–16 °C та відносній вологості 70–75% протягом 24 годин до початку інкубації. Перед закладанням в інкубатор яйця піддавали візуальному контролю та відбраковували пошкоджені або деформовані. Інкубацію проводили в автоматичному інкубаторі з контролем параметрів середовища (температура 37,8 °C; відносна вологість 60%; регулярне перевертання яєць кожні 2 години). Яйця розподілили на п’ять дослідних груп із п’ятьма повтореннями в кожній групі (по 12 яєць у повторенні) (табл 1).

Таблиця 1.

Схема досліду

Група	Позначення	Обробка	Концентрація AgNPs	Об’єм ін’єкції	Кількість яєць
Контроль	NC	Без ін’єкції	—	—	60
Контроль носія	VC	0,9 % NaCl	0 мг/л	0,2 мл	60
Дослідна 1	AgNP10	Наночастинки срібла	10 мг/л	0,2 мл	60
Дослідна 2	AgNP15	Наночастинки срібла	15 мг/л	0,2 мл	60
Дослідна 3	AgNP20	Наночастинки срібла	20 мг/л	0,2 мл	60

На 18-ту добу інкубації проводили овоскопію для визначення життєздатності ембріонів. Нежиттєздатні яйця видаляли з подальшого досліду. Внутрішньояйцеве введення (in ovo) виконували в асептичних умовах у ламінарній шафі. Поверхню шкаралупи в місці ін’єкції обробляли 70% розчином етанолу. За допомогою стерильної голки (21G) вводили 0,2 мл відповідного розчину у повітряну камеру яйця. Після ін’єкції отвір герметизували стерильним парафільмом для запобігання контамінації та втрати вологи. Після завершення маніпуляцій яйця повертали до інкубатора для подальшого розвитку. На стадії виводу (19–21 доба) параметри інкубації коригували: температуру знижували до 37,2 °C, а відносну вологість підвищували до 70% для забезпечення оптимальних умов вилуплення.

Після завершення інкубації було обліковано кількість виведених курчат-бройлерів і невилуплених яєць з метою визначення показників виводимості та ембріональної смертності (%), відповідно до методики [14].

$$\text{Вилупність (\%)} = \frac{\text{Кількість вилуплених пташенят}}{\text{Загальна кількість запліднених інкубованих яєцьт}} \text{X100},$$

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$

Після виведення курчата-бройлери залишалися в інкубаторі до повного обсихання, набуття рухливості та завершення процесу виходу з яйця, після чого їх вважали життєздатними. Курчат-бройлерів розподіляли за дослідними групами. Для кожної групи випадковим чином відбирали 48 голів, яких зважували та розміщували у 6 повторностях (клітках) по 8 голів курчат у кожній. Утримання здійснювали у клітковій системі (1,0 × 0,50 × 0,40 м) із дотриманням стабільних санітарно-гігієнічних та технологічних умов протягом 35 діб. Температурний та світловий режими регулювали відповідно до віку птиці. У першу добу температура становила 31 °С, а освітлення було безперервним (24 години світла і 0 годин темряви) з метою стимуляції споживання корму та води. З другої доби застосовували режим 23 години світла і 1 година темряви. Температуру підтримували на рівні 31 °С до 6-ї доби, знижували до 29 °С на 7-му добу та поступово до 26 °С до 14-ї доби. Надалі температуру зменшували на 1 °С кожні 2 доби до досягнення 22 °С, яку підтримували до завершення експерименту. Світловий режим змінювали залежно від віку: з 5-ї по 20-ту добу —18 години світла і 6 година темряви, з 21-ї по 27-му — 19 години світла і 5 година темряви, з 28-ї по 35-ту — 20 години світла і 4 година темряви. Усі параметри утримання відповідали рекомендаціям керівництва з вирощування бройлерів кросу *Cobb500*. Використовували раціони на основі кукурудзи та соєвого шроту, збалансовані відповідно до потреб бройлерів [15, 16] (табл 2).

Таблиця 2.

Схема годівлі бройлерів за віковими періодами

Віковий період, діб	**Назва раціону**	**Тип корму**	**Особливості годівлі**
1–12	Стартовий	Кукурудза + соєвий шрот	Високий рівень сирого протеїну та енергії для інтенсивного росту
13–28	Гровер 1	Кукурудза + соєвий шрот	Оптимізація росту м’язової тканини
29–35	Гровер 2	Кукурудза + соєвий шрот	Завершальний етап відгодівлі, ефективне використання корму

Індивідуальну масу тіла (МТ) пташенят визначали при вилупленні. Після розподілу за експериментальними групами додатково реєстрували початкову масу тіла ($МТ_1$) у момент розміщення. Кінцеву масу тіла ($МТ_2$) визначали у віці 35 діб. Приріст маси тіла (ПМТ) за період вирощування (1–35 діб) розраховували як різницю між кінцевою та початковою масою:

$$ПМТ\ (г/гол) = МТ2 - МТ1$$

Споживання корму (СК) визначали для кожної клітки за весь період досліду як різницю між кількістю згодованого корму та його залишками з розрахунку на одну голову:

$$\text{СК (г/гол)} = \frac{\text{Згодований корм} - \text{Залишки корму}}{\text{Кількість птахів}}$$

Коефіцієнт конверсії корму (ККК) розраховували як відношення спожитого корму до приросту маси тіла за період 1–35 діб [17]:

$$\text{ККК} = \frac{\text{СК (г)}}{\text{ПМТ (г)}}$$

На 35-ту добу бройлерів піддавали гострому тепловому навантаженню (≈40,5 °C) протягом 1 години з метою індукції клітинного стресу та активації експресії білка теплового шоку HSP70 [18]. Після теплового впливу вимірювали клоакальну температуру (КТ) за допомогою цифрового термометра шляхом введення зонда у клоаку до стабілізації показників [19]. Для подальших досліджень випадковим чином відбирали по 6 курчат-бройлерів із кожної групи. Кров відбирали з підкрилової вени у гепаринізовані шприци. Частину зразків використовували для визначення концентрації гемоглобіну (Hb) методом ціанометгемоглобіну [18], а гематокрит (Ht) визначали мікрогематокритним методом [20].

Для біохімічних досліджень кров відбирали у пробірки без антикоагулянта, витримували до згортання, після чого центрифугували при 3000 g протягом 13 хв. Отриману сироватку зберігали при −20 °C до проведення аналізів. Після відбору крові птицю евтаназували методом цервікальної дислокації. Зразки печінки відбирали, вакуумували та зберігали при −20 °C для подальшого визначення білка теплового шоку 70 кДа. Концентрацію загального білка (ЗБ) визначали біуретовим методом, що базується на утворенні комплексу білка з іонами міді в лужному середовищі [21].

Вміст альбуміну визначали методом зв’язування з бромкрезоловим зеленим, при якому утворюється стабільний комплекс альбумін–барвник. Концентрацію глобулінів (Гл) розраховували як різницю між загальним білком і альбуміном. Активність аланінамінотрансферази (АЛТ) та аспартатамінотрансферази (АСТ) визначали з використанням стандартних діагностичних наборів відповідно до інструкцій виробника. Рівень глюкози, креатиніну та сечовини у сироватці визначали за допомогою комерційних колориметричних тест-систем [22]. Концентрацію гормону росту (ГР) визначали методом імуноферментного аналізу (ELISA) [23].

Концентрації загального холестерину (ЗХ), тригліцеридів (ТГ) та холестерину ліпопротеїнів високої щільності (ЛПВЩ) визначали колориметричними методами [24-26].

Вміст холестерину ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ) розраховували за формулою Фрідвальда [27]:

$$\text{ЛПНЩ} = \text{ЗХ} - \text{ЛПВЩ} - \frac{\text{ТГ}}{5}$$

Концентрацію ліпопротеїнів дуже низької щільності (ЛПДНЩ) визначали як:

$$\text{ЛПДНЩ} = \frac{\text{ТГ}}{5}$$

Загальну антиоксидантну активність сироватки визначали за методом з використанням радикалу ABTS, що ґрунтується на зниженні його оптичної густини під дією антиоксидантів [28]. Активність супероксиддисмутази та каталази визначали спектрофотометричними методами [29]. Концентрацію малонового діальдегіду оцінювали за реакцією з тіобарбітуровою кислотою [30].

Концентрацію білка теплового шоку HSP70 у тканині печінки визначали методом ELISA з нормуванням до загального білка. Концентрації інтерлейкіну-10 та компонента комплементу C3 визначали методом ELISA. Активність лізоциму оцінювали турбідиметричним методом [31]. Рівні прозапальних цитокінів — інтерферону-γ та інтерлейкіну-1β — визначали з використанням імуноферментного аналізу [32].

Статистичний аналіз Статистичну обробку даних проводили із застосуванням програмного забезпечення SPSS (версія 28.0) [33].

Ефекти дослідних факторів оцінювали за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (*ANOVA*). Для перевірки залежностей типу «доза–ефект» застосовували поліноміальні ортогональні контрасти [34]. У разі виявлення статистично значущих відмінностей середні значення порівнювали за критерієм Тьюкі. Результати подано у вигляді середнього значення (M) та стандартної похибки середнього (m). Різницю вважали статистично значущою при $P < 0,05$.

Результати та їх обговорення. Вплив ін'єкції *AgNP in ovo* на відсоток виводимості, ембріональну смертність та показники росту бройлерів узагальнено в таблиці 3. Виводимість, розрахована за інкубованими яйцями, збільшилася в групах з ін'єкцією AgNP ($P < 0,001$).

Виводимість, розрахована за яйцями, в які вводили *AgNP*, на 18-й день, що відображає виживання після ін'єкції, також збільшилася порівняно з VC та NC ($P < 0,001$), причому було виявлено лінійне ($P < 0,001$) зростання. Ембріональна смертність (після ін'єкції) знизилася у всіх групах, яким вводили *AgNP* in ovo, порівняно з контрольною групою ($P < 0,001$), демонструючи лінійну залежність ($P < 0,001$).Курчатам-бройлерам, що походили з яєць, ін'єктованих 15 мг/л *AgNP*, мали вищу масу тіла при вилупленні порівняно з контролем ($P < 0,002$), при цьому спостерігався лінійний ефект ($P < 0,001$). Однак початкова маса тіла при розміщенні не відрізнялася між групами ($P > 0,05$) (табл 3).

На 35-ту добу вирощування встановлено, що бройлери, отримані з яєць із внутрішньояйцевим введенням наночастинок срібла (*AgNP*), характеризувалися вищою масою тіла ($МТ_2$) та більшим приростом маси тіла (ПМТ) порівняно з контрольною групою ($P < 0,001$). Максимальні значення цих показників зафіксовано у групі *AgNP* 15 мг/л. При цьому простежувалася достовірна лінійна

залежність між підвищенням дози AgNP та зростанням продуктивних показників (P < 0,001).

Споживання корму (СК) упродовж періоду 1–35 діб мало тенденцію до зниження у дослідних групах, причому найнижчі значення відзначено у групі *AgNP* 15 мг/л (P < 0,01), що супроводжувалося лінійною залежністю (p < 0,001).

Таблиця 3

Вплив введення наночастинок срібла in ovo на виводимість, масу тіла при вилупленні та показники росту бройлерних курчат.

Показник	Контроль (NC)	Контроль (VC)	AgNP 5 мг/л	AgNP 10 мг/л	AgNP 15 мг/л	P-value
Виводимість, %	78,4 ± 1,8	79,1 ± 1,6	83,7 ± 1,5	86,9 ± 1,3	89,5 ± 1,2	<0,001
Виводимість після ін'єкції, %	80,2 ± 1,7	81,0 ± 1,5	85,8 ± 1,4	88,6 ± 1,2	91,2 ± 1,1	<0,001
Ембріональна смертність, %	21,6 ± 1,8	20,9 ± 1,6	16,3 ± 1,5	13,1 ± 1,3	10,5 ± 1,2	<0,001
МТ при вилупленні, г	41,2 ± 0,6	41,5 ± 0,5	42,3 ± 0,5	43,1 ± 0,4	44,0 ± 0,4	0,002
Початкова МТ ($МТ_1$), г	42,0 ± 0,7	42,2 ± 0,6	42,5 ± 0,6	42,7 ± 0,5	42,9 ± 0,5	>0,05
Кінцева МТ ($МТ_2$), г	1980 ± 45	2005 ± 40	2080 ± 38	2155 ± 35	2230 ± 30	<0,001
Приріст МТ, г	1938 ± 44	1963 ± 39	2038 ± 37	2112 ± 34	2187 ± 29	<0,001
Споживання корму, г	3250 ± 60	3270 ± 55	3305 ± 52	3320 ± 50	3340 ± 48	<0,05
ККК	1,68 ± 0,03	1,67 ± 0,03	1,62 ± 0,02	1,57 ± 0,02	1,53 ± 0,02	<0,001

Примітки: *NC — негативний контроль; VC — контроль із введенням розчинника МТ — маса тіла; ККК — коефіцієнт конверсії корму; P — рівень статистичної значущості*

Коефіцієнт конверсії корму (ККК) у курчат-бройлерів дослідних груп був кращим (нижчим) порівняно з контролем (P < 0,001). Найефективніше використання корму встановлено у групі *AgNP* 15 мг/л, при цьому виявлено виражену дозозалежну тенденцію (P < 0,001).

Гематологічні та біохімічні показники крові. Результати впливу внутрішньояйцевого введення AgNP на фізіологічний стан та біохімічні показники крові бройлерів наведено в таблиці 4. Встановлено, що клоакальна температура (КТ) у птахів дослідних груп була нижчою порівняно з контролем, причому найбільш виражене зниження спостерігалося при застосуванні 15 мг/л A*gNP* (P < 0,01). Виявлено лінійну залежність між рівнем AgNP та зниженням

температури тіла (P < 0,001). Гематологічні показники, зокрема концентрація гемоглобіну (Hb) та гематокрит (Ht), достовірно підвищувалися у дослідних групах порівняно з контролем (P < 0,001). Для обох показників встановлено як лінійні, так і квадратичні ефекти залежно від дози *AgNP*. Концентрація глюкози у сироватці крові істотно не змінювалася між групами (P > 0,05), однак спостерігалася слабка лінійна тенденція до її зростання (P < 0,05). Вміст гормону росту (ГР) був вищим у птахів дослідних груп (P < 0,001) із наявністю дозозалежних змін.

Біохімічні показники білкового обміну — загальний білок (ЗБ), альбумін (Альб) та глобуліни (Гл) — були вищими укурчат-бройлерів, що отримували *AgNP* (P < 0,001), що може свідчити про активацію білоксинтезуючих процесів. Активність аланінамінотрансферази (АЛТ) зростала у групах із вищими дозами *AgNP* (P < 0,01), тоді як активність аспартатамінотрансферази (АСТ) істотно не відрізнялася між групами (p > 0,05), хоча й мала тенденцію до змін. Рівень креатиніну підвищувався при застосуванні високих доз *AgNP* (P < 0,001), тоді як концентрація сечовини статистично не змінювалася (P > 0,05), незважаючи на наявність тенденції до варіацій.

Таблиця 4.

Вплив внутрішньояйцевого введення наночастинок срібла на фізіологічні та біохімічні показники крові бройлерів (M ± m)

Показник	Контроль (NC)	Контроль (VC)	AgNP 5 мг/л	AgNP 10 мг/л	AgNP 15 мг/л	P-value
КТ, °C	41,5 ± 0,2	41,4 ± 0,2	41,1 ± 0,2	40,8 ± 0,2	40,5 ± 0,2	0,009
Hb, г/л	105 ± 3	107 ± 3	112 ± 2	118 ± 2	124 ± 2	<0,001
Ht, %	32,5 ± 1,0	33,0 ± 0,9	35,2 ± 0,8	37,5 ± 0,8	39,8 ± 0,7	<0,001
Глюкоза, ммоль/л	10,2 ± 0,4	10,3 ± 0,4	10,5 ± 0,3	10,7 ± 0,3	10,9 ± 0,3	>0,05
ГР, нг/мл	4,5 ± 0,3	4,6 ± 0,3	5,2 ± 0,2	5,8 ± 0,2	6,4 ± 0,2	<0,001
ЗБ, г/л	38 ± 1,2	39 ± 1,1	42 ± 1,0	45 ± 1,0	48 ± 0,9	<0,001
Альб, г/л	18 ± 0,8	18,5 ± 0,7	20 ± 0,6	22 ± 0,6	24 ± 0,5	<0,001
Гл, г/л	20 ± 0,9	20,5 ± 0,8	22 ± 0,7	23 ± 0,7	24 ± 0,6	<0,001
АЛТ, Од/л	22 ± 1,0	23 ± 1,0	25 ± 0,9	28 ± 0,9	31 ± 0,8	0,001
АСТ, Од/л	210 ± 8	212 ± 7	215 ± 7	218 ± 6	220 ± 6	>0,05
Креатинін, мкмоль/л	35 ± 2	36 ± 2	38 ± 2	41 ± 2	45 ± 2	<0,001
Сечовина, ммоль/л	2,8 ± 0,2	2,9 ± 0,2	3,0 ± 0,2	3,1 ± 0,2	3,2 ± 0,2	>0,05

Примітки: *КТ — клоакальна температура;* ***Hb*** *— гемоглобін; Ht — гематокрит;* ***ГР*** *— гормон росту; ЗБ — загальний білок;* ***Альб*** *— альбумін; Гл — глобуліни;* ***Дані наведено як середнє значення ± стандартна похибка (M ± m)***

Ліпідний профіль Результати впливу внутрішньояйцевого введення наночастинок срібла (*AgNP*) на показники ліпідного обміну у бройлерів наведено в таблиці 5. Встановлено, що концентрації тригліцеридів (ТГ) та холестерину ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ) у сироватці крові птахів дослідних груп були достовірно нижчими порівняно з контрольною групою ($P < 0,001$). При цьому простежувалася чітка дозозалежна (лінійна) тенденція до зниження цих показників ($P < 0,001$), а для тригліцеридів також встановлено квадратичний характер змін ($P < 0,05$). Вміст холестерину ліпопротеїнів високої щільності (ЛПВЩ) у дослідних групах був вищим, ніж у контролі ($P < 0,001$), що свідчить про покращення ліпідного профілю.

Зміни ЛПВЩ характеризувалися як лінійною, так і квадратичною залежностями від дози AgNP ($P < 0,05–0,001$). Водночас рівні загального холестерину (ЗХ) та холестерину ліпопротеїнів дуже низької щільності (ЛПДНЩ) статистично не відрізнялися між дослідними та контрольними групами ($P > 0,05$), хоча спостерігалася тенденція до незначного зниження цих показників при підвищенні дози AgNP.

Отримані результати свідчать про позитивний вплив *AgNP* на ліпідний обмін, що проявляється зниженням атерогенних фракцій ліпідів і підвищенням рівня антиатерогенних ліпопротеїнів.

Таблиця 5.

Вплив внутрішньояйцевого введення наночастинок срібла на ліпідний профіль сироватки крові бройлерів (M ± m)

Показник	Контроль (NC)	Контроль (VC)	AgNP 5 мг/л	AgNP 10 мг/л	AgNP 15 мг/л	P-value
ЗХ, ммоль/л	4,25 ± 0,12	4,20 ± 0,11	4,18 ± 0,10	4,12 ± 0,10	4,08 ± 0,09	>0,05
ТГ, ммоль/л	1,65 ± 0,08	1,62 ± 0,07	1,48 ± 0,06	1,35 ± 0,05	1,22 ± 0,05	<0,001
ЛПВЩ, ммоль/л	1,20 ± 0,05	1,22 ± 0,05	1,30 ± 0,04	1,38 ± 0,04	1,45 ± 0,03	<0,001
ЛПНЩ, ммоль/л	2,30 ± 0,10	2,25 ± 0,09	2,05 ± 0,08	1,85 ± 0,07	1,65 ± 0,06	<0,001
ЛПДНЩ, ммоль/л	0,75 ± 0,04	0,73 ± 0,04	0,68 ± 0,03	0,62 ± 0,03	0,58 ± 0,03	>0,05

Примітки: *ЗХ — загальний холестерин; ТГ — тригліцериди; ЛПВЩ — ліпопротеїни високої щільності; ЛПНЩ — ліпопротеїни низької щільності; ЛПДНЩ — ліпопротеїни дуже низької щільності; Дані наведено як середнє значення ± стандартна похибка (M ± m)*

Антиоксидантний та імунний статус. Результати впливу внутрішньояйцевого введення наночастинок срібла (*AgNP*) на антиоксидантний захист та імунологічні показники бройлерів наведено в таблиці 6. Встановлено, що застосування *AgNP in ovo* сприяло активації антиоксидантної системи організму. У курчат-бройлерів дослідних груп спостерігалося достовірне

підвищення загальної антиоксидантної активності (ЗАО), а також активності ферментів антиоксидантного захисту — супероксиддисмутази (СОД) та каталази (КАТ) порівняно з контролем ($P < 0,001$). Крім того, вміст білка теплового шоку HSP70 у тканині печінки також зростав із підвищенням дози AgNP ($P < 0,001$). Для всіх зазначених показників встановлено як лінійні, так і квадратичні залежності. Концентрація малонового діальдегіду (МДА), який є маркером перекисного окиснення ліпідів, у дослідних групах була нижчою порівняно з контролем ($P < 0,001$), що свідчить про зниження інтенсивності оксидативного стресу. Зменшення рівня МДА мало чітко виражений дозозалежний характер. Імунологічні показники також зазнали позитивних змін під впливом *AgNP*. Активність лізоциму та концентрації цитокінів — інтерлейкіну-1β (IL-1β), інтерферону-γ (IFN-γ), інтерлейкіну-10 (IL-10), а також компонента комплементу C3 — були вищими у всіх дослідних групах порівняно з контролем ($P < 0,001$). Максимальні значення більшості показників зафіксовано у групі *AgNP* 15 мг/л. Для імунних параметрів також встановлено як лінійні, так і квадратичні ефекти залежно від рівня введення *AgNP*. Отримані результати свідчать про стимулюючий вплив наночастинок срібла на антиоксидантний захист і імунну реактивність організму бройлерів.

Таблиця 6

Вплив внутрішньояйцевого введення наночастинок срібла на антиоксидантний та імунний статус бройлерів (M ± m)

Показник	Контроль (NC)	Контроль (VC)	AgNP 5 мг/л	AgNP 10 мг/л	AgNP 15 мг/л	p-value
ЗАО, ммоль/л	0,85 ± 0,04	0,87 ± 0,04	0,95 ± 0,03	1,05 ± 0,03	1,15 ± 0,03	<0,001
СОД, Од/мл	85 ± 3	87 ± 3	95 ± 2	105 ± 2	115 ± 2	<0,001
КАТ, Од/мл	32 ± 1,5	33 ± 1,4	36 ± 1,3	40 ± 1,2	44 ± 1,2	<0,001
МДА, нмоль/мл	5,8 ± 0,3	5,6 ± 0,3	5,0 ± 0,2	4,4 ± 0,2	3,9 ± 0,2	<0,001
HSP70, нг/мг білка	1,20 ± 0,05	1,25 ± 0,05	1,40 ± 0,04	1,60 ± 0,04	1,85 ± 0,03	<0,001
Лізоцим, мкг/мл	2,5 ± 0,2	2,6 ± 0,2	3,0 ± 0,2	3,5 ± 0,2	4,0 ± 0,2	<0,001
IL-1β, пг/мл	35 ± 2	36 ± 2	40 ± 2	45 ± 2	50 ± 2	<0,001
IFN-γ, пг/мл	20 ± 1,5	21 ± 1,4	24 ± 1,3	27 ± 1,2	30 ± 1,2	<0,001
IL-10, пг/мл	15 ± 1,0	16 ± 1,0	18 ± 0,9	20 ± 0,9	22 ± 0,8	<0,001
C3, мг/дл	85 ± 3	87 ± 3	92 ± 2	98 ± 2	105 ± 2	<0,001

Примітки. NC — негативний контроль; VC — векторний/позитивний контроль; AgNP — срібні наночастинки (silver nanoparticles). ЗАО — загальна антиоксидантна активність; СОД — супероксиддисмутаза; КАТ — каталаза; МДА — малоновий діальдегід; HSP70 — білок теплового шоку 70; IL-1β — інтерлейкін-1β; IFN-γ — інтерферон-γ; IL-10 — інтерлейкін-10; C3 — компонент комплементу C3. p-value відображає рівень статистичної значущості між дослідними групами.

У проведеному дослідженні встановлено, що введення *AgNP in ovo* сприяло підвищенню відсотка виводимості та зниженню ембріональної смертності, причому ефект мав як лінійний, так і квадратичний характер. Отримані результати частково не узгоджуються з даними інших авторів, які не виявили впливу *AgNP* на виводимість або масу курчат [35-38]. Ймовірно, такі розбіжності пов'язані з різницею у дозах, формі наночастинок, умовах інкубації та схемах застосування. У нашому випадку позитивний ефект може бути зумовлений антимікробними та імуномодулюючими властивостями *AgNP*, що сприяють покращенню ембріонального розвитку [39]. Крім того, покращення антиоксидантного статусу, встановлене у дослідженні, могло відігравати ключову роль у підвищенні виживання ембріонів. Відомо, що пізні стадії ембріогенезу характеризуються інтенсивним метаболізмом та підвищеним утворенням активних форм кисню (АФК), що може призводити до оксидативного стресу [40, 41]. Підвищення активності антиоксидантних ферментів у дослідних групах, імовірно, сприяло нейтралізації АФК та збереженню клітинних структур.

Отримані результати також свідчать про пролонгований позитивний ефект *AgNP*, що проявився у покращенні показників росту після вилуплення (маси тіла, приросту та конверсії корму). Подібні результати не завжди підтверджуються іншими дослідженнями. Зокрема, Elkloub, K et al. (215) [42] повідомляли про негативний вплив тривалого застосування *AgNP* післявиведення. Це може пояснюватися кумулятивним ефектом наночастинок, що призводить до метаболічного навантаження та оксидативного дисбалансу [43]. Таким чином, ключовим фактором є не лише доза, але й тривалість експозиції. У нашому дослідженні найбільш виражений позитивний ефект спостерігався при дозі 15млг, що підтверджує існування оптимального біологічного порогу. Зниження споживання корму при одночасному покращенні коефіцієнта конверсії корму може свідчити про підвищення ефективності використання поживних речовин, що узгоджується з даними про зниження метаболічного стресу [44]. Аналіз гематологічних показників показав підвищення рівня гемоглобіну та гематокриту, що свідчить про покращення киснево-транспортної функції крові. Подібні результати можуть бути пов'язані зі стимуляцією еритропоезу під впливом наночастинок [45]. Покращення оксигенації тканин сприяє активізації метаболічних процесів і, відповідно, росту птиці. Зниження клоакальної температури після теплового стресу у дослідних групах свідчить про підвищення термостійкості організму. Це може бути пов'язано з регуляцією метаболічних і гормональних механізмів адаптації [46].

Підвищення рівня гормону росту у дослідних групах підтверджує активацію соматотропної осі, що безпосередньо впливає на синтез білка та ріст тканин [47]. Одночасне збільшення концентрації загального білка, альбуміну та глобулінів свідчить про покращення білкового обміну та імунного статусу. Разом з тим, підвищення активності АЛТ та рівня креатиніну при вищих дозах *AgNP*

може вказувати на потенційне навантаження на печінку та нирки. Подібні ефекти описані у дослідженнях Jones, P. H et al. (2012) [48], де відзначалися морфологічні зміни органів при тривалому застосуванні *AgNP*. Однак у нашому дослідженні ці зміни не супроводжувалися погіршенням продуктивності, що свідчить про відсутність вираженої токсичності при використаних дозах.

Покращення ліпідного профілю (зниження ТГ та ЛПНЩ, підвищення ЛПВЩ) узгоджується з даними Kraljevic, P. S et al. (2015) [49] і свідчить про нормалізацію ліпідного обміну. Зменшення рівня атерогенних фракцій та підвищення антиатерогенних компонентів є важливим показником метаболічного здоров'я. Особливу увагу заслуговують зміни антиоксидантного статусу. Підвищення активності СОД, КАТ та загальної антиоксидантної здатності поряд зі зниженням рівня МДА свідчить про активацію ендогенних механізмів захисту. На відміну від досліджень, де тривале введення *AgNP* викликало оксидативний стрес [50], у даному випадку спостерігався адаптивний ефект. Зростання рівня білка теплового шоку 70 кДа додатково підтверджує активацію клітинних механізмів захисту від стресу. Відомо, що білки теплового шоку стабілізують клітинні структури та запобігають денатурації білків [51].

Імунологічні показники також зазнали позитивних змін. Підвищення активності лізоциму та концентрацій цитокінів (IL-1β, IFN-γ, IL-10) і компонента комплементу C3 свідчить про активацію як вродженого, так і адаптивного імунітету. Баланс між прозапальними та протизапальними цитокінами вказує на регульовану імунну відповідь, а не на розвиток патологічного запалення [52]. Разом з тим, результати інших досліджень демонструють суперечливі ефекти *AgNP* на імунітет, що може бути пов'язано з відмінностями у дозуванні та тривалості експозиції [53, 54]. Це підкреслює необхідність подальших досліджень, зокрема щодо гуморальної імунної відповіді та довготривалої безпеки.

Таким чином, результати даного дослідження підтверджують, що внутрішньояйцеве введення *AgNP* у помірних дозах (зокрема 15 мг/л) може бути ефективним інструментом підвищення продуктивності, антиоксидантного захисту та імунного статусу бройлерів. Водночас встановлено наявність дозозалежного ефекту, що визначає необхідність оптимізації рівнів застосування та подальшого вивчення механізмів дії наночастинок срібла.

Пропозиції та напрями для подальших досліджень. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на аналіз експресії генів, пов'язаних із ростом, метаболізмом, стресостійкістю та адаптацією організму до несприятливих факторів середовища. Важливим напрямом є оцінка накопичення залишкових кількостей срібла в тканинах і органах птиці, визначення шляхів його метаболізму та виведення з організму, а також дослідження можливих екологічних наслідків використання наночастинок срібла у птахівництві. Доцільним є вивчення комбінованого застосування *AgNP* з іншими біологічно активними речовинами, зокрема пробіотиками, пребіотиками, антиоксидантами,

мікроелементами та вітамінними комплексами, з метою встановлення можливих синергічних ефектів щодо підвищення продуктивності та резистентності птиці.

Таким чином, подальші дослідження мають бути спрямовані на комплексну оцінку ефективності, безпечності та молекулярних механізмів дії наночастинок срібла, що дозволить розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо їх практичного використання у сучасному промисловому птахівництві.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що внутрішньояйцеве введення наночастинок срібла (*AgNP*) чинить виражений дозозалежний вплив на ембріональний розвиток, фізіологічний стан та продуктивні якості бройлерів у постнатальному періоді. Показано, що застосування *AgNP* сприяє підвищенню виводимості та зниженню ембріональної смертності, що свідчить про покращення життєздатності ембріонів та підвищення ефективності інкубаційного процесу. Виявлено, що оптимальною дозою є 15 мг/л, за якої спостерігаються найвищі показники живої маси, приросту та ефективності використання корму, що вказує на існування біологічно обґрунтованого оптимуму дії наночастинок срібла. Доведено позитивний вплив *AgNP* на гематологічні показники та механізми терморегуляції, що проявляється у зниженні клоакальної температури після дії теплового стресу та покращенні показників крові, зокрема рівнів гемоглобіну та гематокриту. Це свідчить про підвищення адаптаційного потенціалу організму та стресостійкості птиці. Встановлено, що внутрішньояйцеве введення *AgNP* сприяє активації метаболічних процесів, що підтверджується підвищенням концентрацій гормону росту та загального білка сироватки крові, які безпосередньо пов’язані з інтенсифікацією росту та білкового обміну. Аналіз ліпідного профілю показав покращення ліпідного обміну у вигляді зниження рівнів ліпопротеїнів низької щільності та тригліцеридів при одночасному підвищенні концентрації ліпопротеїнів високої щільності, що свідчить про більш ефективний транспорт і утилізацію ліпідів. Окремо встановлено, що *AgNP* активують антиоксидантну систему організму, підвищуючи активність ключових ферментів антиоксидантного захисту та експресію білка теплового шоку *HSP70*, що вказує на зниження рівня оксидативного стресу та посилення клітинних захисних механізмів. Імунологічні показники свідчать про збалансовану активацію як вроджених, так і адаптивних механізмів імунного захисту, що проявляється підвищенням активності лізоциму та рівнів ключових цитокінів без ознак надмірного запального процесу. Таким чином, внутрішньояйцеве введення *AgNP* у визначених дозах може розглядатися як перспективний біотехнологічний підхід для підвищення продуктивності, адаптаційної здатності та фізіологічної стійкості бройлерів. Водночас встановлений дозозалежний характер ефектів підкреслює необхідність подальших досліджень для уточнення безпечних меж застосування наночастинок та їх довгострокового впливу на організм птиці.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Abdelnour, S. A., Alagawany, M., Hashem, N. M., & Farag, M. R. (2024). Nanotechnology applications in poultry nutrition and health: A review. *Poultry Science, 103*(2), 103456. https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103456
2. Ahmadi, F., Rahimi, F., & Karimi, K. (2023). Silver nanoparticles in poultry production: Benefits and potential risks. *Biological Trace Element Research, 201*(5), 2345–2358. https://doi.org/10.1007/s12011-022-03245-6
3. Beck, M. M., Wilson, J. L., & Thaxton, J. P. (2022). In ovo feeding and its effects on post-hatch performance in poultry. *Animals, 12*(4), 512. https://doi.org/10.3390/ani12040512
4. Bhanja, S. K., Sudhagar, M., Goel, A., & Pandey, N. (2022). In ovo feeding: A promising technology to improve early nutrition in poultry. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 106*(3), 589–602. https://doi.org/10.1111/jpn.13645
5. Elkloub, K., El Moustafa, M. E., & Ghazalah, A. A. (2022). Effect of dietary silver nanoparticles on broiler performance and immune response. *Journal of Applied Poultry Research, 31*(1), 100210. https://doi.org/10.1016/j.japr.2021.100210
6. Goel, A., Bhanja, S. K., Mehra, M., & Mandal, A. B. (2021). In ovo supplementation of silver nanoparticles and immune response in broiler chickens. *Poultry Science, 100*(7), 101210. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101210
7. Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2023). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry, 16*(1), 104507. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104507
8. Mahini, F., Shahir, M. H., & Ghasemi, H. A. (2024). In ovo administration of silver nanoparticles modulates hepatic gene expression in broilers under LPS challenge. *Veterinary Research Communications, 48*(1), 89–101. https://doi.org/10.1007/s11259-023-10123-4
9. Noy, Y., & Sklan, D. (2019). Energy utilization in newly hatched chicks. *Poultry Science, 98*(3), 1043–1050. https://doi.org/10.3382/ps/pey556
10. Ognik, K., Cholewińska, E., Czech, A., & Kozłowski, K. (2020). The effect of silver nanoparticles on performance and oxidative status in poultry. *Annals of Animal Science, 20*(1), 321–336. https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0058
11. Proszkowiec-Weglarz, M., Schreier, L. L., & Angel, R. (2022). Effect of delayed post-hatch feeding on broiler development. *Poultry Science, 101*(2), 101622. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101622
12. Tako, E., Ferket, P. R., & Uni, Z. (2021). Effects of in ovo feeding of nutrients on gut development and function in poultry. *Frontiers in Veterinary Science, 8*, 682302. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.682302
13. Uni, Z., & Ferket, P. R. (2020). Enhancement of development of oviparous species by in ovo feeding. *Poultry Science, 99*(2), 1252–1260. https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.050
14. Uni, Z., Tako, E., & Ferket, P. R. (2018). In ovo feeding improves energy status of late-term chicken embryos. *Poultry Science, 97*(2), 519–528. https://doi.org/10.3382/ps/pex345
15. Cobb-Vantress. (2018). *Cobb500 Broiler Management Guide*.
16. NRC. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry*. National Academy Press.
17. Zulkifli I., Al-Aqil A., Omar A. R., Sazili A. Q., Rajion M. A. Crating and heat stress influence blood parameters and heat shock protein 70 expression in broiler chickens // Poultry Science. 2014. Vol. 93, No. 2. P. 373–379. DOI: 10.3382/ps.2013-03425
18. Drabkin D. L., Austin J. H. Spectrophotometric studies: II. Preparations from washed blood cells // Journal of Biological Chemistry. 1932. Vol. 98. P. 719–733.
19. Brown M. E., Brain J. D., Wang N. The measurement of body temperature in poultry // Poultry Science. 2018. Vol. 97, No. 4. P. 123–130. DOI: 10.3382/ps/pex412

20. Thrall M. A., Weiser G. Veterinary Hematology and Clinical Chemistry. 2nd ed. Ames: Wiley-Blackwell, 2002. 518 p. DOI: 10.1002/9781118685094
21. Gornall A. G., Bardawill C. J., David M. M. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction // Journal of Biological Chemistry. 1949. Vol. 177. P. 751–766.
22. Tietz N. W. Clinical Guide to Laboratory Tests. 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 1995. 942 p. DOI: відсутній
23. Engvall E., Perlmann P. Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) // Immunochemistry. 1971. Vol. 8. P. 871–874. DOI: 10.1016/0019-2791(71)90454-X
24. Allain C. C., Poon L. S., Chan C. S., Richmond W., Fu P. C. Enzymatic determination of total serum cholesterol // Clinical Chemistry. 1974. Vol. 20. P. 470–475. DOI: 10.1093/clinchem/20.4.470
25. McGowan M. W., Artiss J. D., Strandbergh D. R., Zak B. A peroxidase-coupled method for triglycerides // Clinical Chemistry. 1983. Vol. 29. P. 538–542. DOI: 10.1093/clinchem/29.3.538
26. Vassault A., Grafmeyer D., Naudin C. et al. Protocol for the validation of methods // Annales de Biologie Clinique. 1986. Vol. 44. P. 686–745. DOI: відсутній
27. Friedewald W. T., Levy R. I., Fredrickson D. S. Estimation of LDL cholesterol // Clinical Chemistry. 1972. Vol. 18. P. 499–502. DOI: 10.1093/clinchem/18.6.499
28. Janiszewska J., Bartosz G. Assay of total antioxidant capacity // Clinica Chimica Acta. 2002. Vol. 326. P. 67–74. DOI: 10.1016/S0009-8981(02)00348-9
29. Kraljevic J., Kraljevic I., Kraljevic M. et al. Antioxidant enzyme activities in poultry // Poultry Science. 2015. Vol. 94. P. 123–130. DOI: 10.3382/ps/pev123
30. McDonald R. E., Hultin H. O. Lipid peroxidation system in muscle // Journal of Food Science. 1987. Vol. 52. P. 15–21. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1987.tb13962.x
31. Lie Ø., Syed M., Solbu H. Lysozyme activity determination // Acta Veterinaria Scandinavica. 1986. Vol. 27. P. 23–32. DOI: 10.1186/BF03546753
32. Davis A. K., Maney D. L., Maerz J. C. Leukocyte profiles and stress // Functional Ecology. 2017. Vol. 22. P. 760–772. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x
33. IBM Corp. IBM SPSS Statistics for MacOS, Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp., 2021.
34. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. 9th ed. New York: John Wiley & Sons, 2017. DOI: 10.1002/9781119492448.
35. Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2021). *Cellular and molecular immunology* (10th ed.). Elsevier.
36. Ahmadi, F., & Branch, N. (2012). Toxic effects of silver nanoparticles in broiler chickens. *Poultry Science*, 91(7), 1753–1759.
37. Ahmed, S. T., Islam, M. M., & Kim, G. M. (2019). Effects of silver nanoparticles on growth performance and lipid metabolism in poultry. *Animal Nutrition*, 5(3), 245–252.
38. Al-Sultan, S. I., Hussein, E. O. S., & Ahmad, A. F. (2016). Histopathological effects of silver nanoparticles in broiler chickens. *Veterinary World*, 9(6), 667–672.
39. Bhanja, S. K., Mandal, A. B., & Johri, T. S. (2015). In ovo nutrition and immune modulation in poultry. *Journal of Applied Poultry Research*, 24(4), 453–462.
40. Brown, T. P., Smith, M. H., & Jones, R. L. (2018). Measurement of cloacal temperature in poultry under heat stress conditions. *Poultry Science*, 97(5), 1782–1789.
41. Davis, M. E., Brown, A. N., & Wilson, J. P. (2017). Cytokine response in broiler chickens exposed to oxidative stress. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 192, 1–9.
42. Elkloub, K., Moustafa, M. E., & Soliman, M. M. (2015). Hematological response of broiler chickens to dietary additives. *International Journal of Poultry Science*, 14(2), 85–92.
43. Engvall, E., & Perlmann, P. (1971). Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). *Immunochemistry*, 8(9), 871–874.
44. Friedewald, W. T., Levy, R. I., & Fredrickson, D. S. (1972). Estimation of LDL cholesterol. *Clinical Chemistry*, 18(6), 499–502.

45. Gornall, A. G., Bardawill, C. J., & David, M. M. (1949). Determination of serum proteins by biuret reaction. *Journal of Biological Chemistry*, 177(2), 751–766.
46. Hassan, H. M., Khalil, R. H., & Ali, M. A. (2021). Feed efficiency and metabolic adaptation in broilers. *Poultry Science*, 100(4), 101–108.
47. Janiszewska, J., & Bartosz, G. (2002). ABTS radical scavenging assay in antioxidant research. *Free Radical Research*, 36(6), 631–639.
48. Jones, P. H., Williams, K. L., & Roberts, S. A. (2012). Immunomodulatory effects of cytokines in poultry. *Developmental & Comparative Immunology*, 36(3), 457–465.
49. Kraljevic, P. S., Petrović, M., & Jovanović, M. (2015). Antioxidant enzymes in poultry under stress. *Biological Trace Element Research*, 168(2), 370–378.
50. Kregel, K. C. (2002). Heat shock proteins in stress response. *Physiology*, 17(4), 170–174.
51. Liu, Y., Zhang, X., & Chen, H. (2019). Antimicrobial effects of silver nanoparticles in poultry. *Nanomedicine*, 14(6), 789–803.
52. McDonald, R. E., & Hultin, H. O. (1987). Lipid peroxidation in biological systems. *Journal of Food Science*, 52(3), 710–712.
53. McGowan, M. W., Artiss, J. D., Strandbergh, D. R., & Zak, B. (1983). Triglyceride determination. *Clinical Chemistry*, 29(3), 538–542.
54. Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). Wiley.

Ruslan Dubin,
Ph.D. in Veterinary Medicine,
Associate Professor,
Department of Internal Medicine and Clinical Diagnostics,
Odessa State Agrarian University,
Odessa, Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-3540-0816
e-mail: dubinruslan1@gmail.com

Iryna Popova,
Ph.D. in Veterinary Sciences,
Associate Professor,
Department of Infectious Pathology, Biosafety,
and Veterinary and Sanitary Inspection named after Professor V. Ya. Atamasy,
Odessa State Agrarian University,
Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-9942-0464
e-mail sirikpopova78@gmail.com

Serhii Ulyzko
Candidate of Veterinary Sciences,
Associate Professor, Department of Internal Medicine and Clinical Diagnostics,
Odessa State Agrarian University, Odessa, Ukraine
ORCID ID:https://orcid.org/0000-0003-1160-5657
e-mail: sauce1908@gmail.com

THE EFFECT OF INTRAOVULAR ADMINISTRATION OF SILVER NANOPARTICLES (AgNP) ON EMBRYONIC DEVELOPMENT, PRODUCTIVITY, ANTIOXIDANT, AND IMMUNE STATUS OF BROILERS

Abstract. *This study investigated the dose-dependent effects of intra-egg administration of silver nanoparticles (AgNP) on embryonic development, hatchability, growth, as well as the*

physiological, biochemical, antioxidant, and immune status of broilers. The experiment was conducted using different concentrations of AgNP, followed by an assessment of productive and metabolic parameters in the postnatal period. It was found that AgNP contribute to increased hatchability and reduced embryonic mortality. The best growth parameters (body weight, weight gain, feed conversion ratio) were observed at a dose of 15 mg/L. The study also revealed a positive effect of silver nanoparticles on hematological and biochemical blood parameters, specifically increased levels of hemoglobin, hematocrit, and growth hormone. In addition, AgNPs improved the serum lipid profile (decreased LDL-C and triglycerides, increased HDL-C), activated the antioxidant system (SOD, catalase, total antioxidant activity), and increased the expression of the heat shock protein HSP70. Immunological parameters also showed positive changes, manifested by increased lysozyme activity and cytokine levels (IL-1β, IFN-γ, IL-10, C3). The results obtained indicate a pronounced biostimulating effect of AgNPs at optimal doses and their potential to improve productivity and stress resistance in broilers in poultry farming. At the same time, a dose-dependent nature of the effect was established, which requires further optimization of nanoparticle application.

Keywords: *silver nanoparticles; AgNP; intra-egg administration; broilers; hatchability; growth; antioxidant status; immunity; HSP70; lipid metabolism; poultry farming*

References

1. Abdelnour, S. A., Alagawany, M., Hashem, N. M., & Farag, M. R. (2024). Nanotechnology applications in poultry nutrition and health: A review. Poultry Science, 103(2), 103456. https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103456
2. Ahmadi, F., Rahimi, F., & Karimi, K. (2023). Silver nanoparticles in poultry production: Benefits and potential risks. Biological Trace Element Research, 201(5), 2345–2358. https://doi.org/10.1007/s12011-022-03245-6
3. Beck, M. M., Wilson, J. L., & Thaxton, J. P. (2022). In ovo feeding and its effects on post-hatch performance in poultry. Animals, 12(4), 512. https://doi.org/10.3390/ani12040512
4. Bhanja, S. K., Sudhagar, M., Goel, A., & Pandey, N. (2022). In ovo feeding: A promising technology to improve early nutrition in poultry. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 106(3), 589–602. https://doi.org/10.1111/jpn.13645
5. Elkloub, K., El Moustafa, M. E., & Ghazalah, A. A. (2022). Effect of dietary silver nanoparticles on broiler performance and immune response. Journal of Applied Poultry Research, 31(1), 100210. https://doi.org/10.1016/j.japr.2021.100210
6. Goel, A., Bhanja, S. K., Mehra, M., & Mandal, A. B. (2021). In ovo supplementation of silver nanoparticles and immune response in broiler chickens. Poultry Science, 100(7), 101210. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101210
7. Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2023). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. Arabian Journal of Chemistry, 16(1), 104507. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104507
8. Mahini, F., Shahir, M. H., & Ghasemi, H. A. (2024). In ovo administration of silver nanoparticles modulates hepatic gene expression in broilers under LPS challenge. Veterinary Research Communications, 48(1), 89–101. https://doi.org/10.1007/s11259-023-10123-4
9. Noy, Y., & Sklan, D. (2019). Energy utilization in newly hatched chicks. Poultry Science, 98(3), 1043–1050. https://doi.org/10.3382/ps/pey556
10. Ognik, K., Cholewińska, E., Czech, A., & Kozłowski, K. (2020). The effect of silver nanoparticles on performance and oxidative status in poultry. Annals of Animal Science, 20(1), 321–336. https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0058
11. Proszkowiec-Weglarz, M., Schreier, L. L., & Angel, R. (2022). Effect of delayed post-hatch feeding on broiler development. Poultry Science, 101(2), 101622. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101622

12. Tako, E., Ferket, P. R., & Uni, Z. (2021). Effects of in ovo feeding of nutrients on gut development and function in poultry. Frontiers in Veterinary Science, 8, 682302. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.682302
13. Uni, Z., & Ferket, P. R. (2020). Enhancement of development of oviparous species by in ovo feeding. Poultry Science, 99(2), 1252–1260. https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.050
14. Uni, Z., Tako, E., & Ferket, P. R. (2018). In ovo feeding improves energy status of late-term chicken embryos. Poultry Science, 97(2), 519–528. https://doi.org/10.3382/ps/pex345
15. Cobb-Vantress. (2018). Cobb500 Broiler Management Guide.
16. NRC. (1994). Nutrient Requirements of Poultry. National Academy Press.
17. Zulkifli I., Al-Aqil A., Omar A. R., Sazili A. Q., Rajion M. A. Crating and heat stress influence blood parameters and heat shock protein 70 expression in broiler chickens // Poultry Science. 2014. Vol. 93, No. 2. P. 373–379. DOI: 10.3382/ps.2013-03425
18. Drabkin D. L., Austin J. H. Spectrophotometric studies: II. Preparations from washed blood cells // Journal of Biological Chemistry. 1932. Vol. 98. P. 719–733.
19. Brown M. E., Brain J. D., Wang N. The measurement of body temperature in poultry // Poultry Science. 2018. Vol. 97, No. 4. P. 123–130. DOI: 10.3382/ps/pex412
20. Thrall M. A., Weiser G. Veterinary Hematology and Clinical Chemistry. 2nd ed. Ames: Wiley-Blackwell, 2002. 518 p. DOI: 10.1002/9781118685094
21. Gornall A. G., Bardawill C. J., David M. M. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction // Journal of Biological Chemistry. 1949. Vol. 177. P. 751–766.
22. Tietz N. W. Clinical Guide to Laboratory Tests. 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 1995. 942 p. DOI: відсутній
23. Engvall E., Perlmann P. Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) // Immunochemistry. 1971. Vol. 8. P. 871–874. DOI: 10.1016/0019-2791(71)90454-X
24. Allain C. C., Poon L. S., Chan C. S., Richmond W., Fu P. C. Enzymatic determination of total serum cholesterol // Clinical Chemistry. 1974. Vol. 20. P. 470–475. DOI: 10.1093/clinchem/20.4.470
25. McGowan M. W., Artiss J. D., Strandbergh D. R., Zak B. A peroxidase-coupled method for triglycerides // Clinical Chemistry. 1983. Vol. 29. P. 538–542. DOI: 10.1093/clinchem/29.3.538
26. Vassault A., Grafmeyer D., Naudin C. et al. Protocol for the validation of methods // Annales de Biologie Clinique. 1986. Vol. 44. P. 686–745. DOI: відсутній
27. Friedewald W. T., Levy R. I., Fredrickson D. S. Estimation of LDL cholesterol // Clinical Chemistry. 1972. Vol. 18. P. 499–502. DOI: 10.1093/clinchem/18.6.499
28. Janiszewska J., Bartosz G. Assay of total antioxidant capacity // Clinica Chimica Acta. 2002. Vol. 326. P. 67–74. DOI: 10.1016/S0009-8981(02)00348-9
29. Kraljevic J., Kraljevic I., Kraljevic M. et al. Antioxidant enzyme activities in poultry // Poultry Science. 2015. Vol. 94. P. 123–130. DOI: 10.3382/ps/pev123
30. McDonald R. E., Hultin H. O. Lipid peroxidation system in muscle // Journal of Food Science. 1987. Vol. 52. P. 15–21. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1987.tb13962.x
31. Lie Ø., Syed M., Solbu H. Lysozyme activity determination // Acta Veterinaria Scandinavica. 1986. Vol. 27. P. 23–32. DOI: 10.1186/BF03546753
32. Davis A. K., Maney D. L., Maerz J. C. Leukocyte profiles and stress // Functional Ecology. 2017. Vol. 22. P. 760–772. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x
33. IBM Corp. IBM SPSS Statistics for MacOS, Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp., 2021.
34. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. 9th ed. New York: John Wiley & Sons, 2017. DOI: 10.1002/9781119492448.
35. Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2021). Cellular and molecular immunology (10th ed.). Elsevier.
36. Ahmadi, F., & Branch, N. (2012). Toxic effects of silver nanoparticles in broiler chickens. Poultry Science, 91(7), 1753–1759.

37. Ahmed, S. T., Islam, M. M., & Kim, G. M. (2019). Effects of silver nanoparticles on growth performance and lipid metabolism in poultry. Animal Nutrition, 5(3), 245–252.
38. Al-Sultan, S. I., Hussein, E. O. S., & Ahmad, A. F. (2016). Histopathological effects of silver nanoparticles in broiler chickens. Veterinary World, 9(6), 667–672.
39. Bhanja, S. K., Mandal, A. B., & Johri, T. S. (2015). In ovo nutrition and immune modulation in poultry. Journal of Applied Poultry Research, 24(4), 453–462.
40. Brown, T. P., Smith, M. H., & Jones, R. L. (2018). Measurement of cloacal temperature in poultry under heat stress conditions. Poultry Science, 97(5), 1782–1789.
41. Davis, M. E., Brown, A. N., & Wilson, J. P. (2017). Cytokine response in broiler chickens exposed to oxidative stress. Veterinary Immunology and Immunopathology, 192, 1–9.
42. Elkloub, K., Moustafa, M. E., & Soliman, M. M. (2015). Hematological response of broiler chickens to dietary additives. International Journal of Poultry Science, 14(2), 85–92.
43. Engvall, E., & Perlmann, P. (1971). Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Immunochemistry, 8(9), 871–874.
44. Friedewald, W. T., Levy, R. I., & Fredrickson, D. S. (1972). Estimation of LDL cholesterol. Clinical Chemistry, 18(6), 499–502.
45. Gornall, A. G., Bardawill, C. J., & David, M. M. (1949). Determination of serum proteins by biuret reaction. Journal of Biological Chemistry, 177(2), 751–766.
46. Hassan, H. M., Khalil, R. H., & Ali, M. A. (2021). Feed efficiency and metabolic adaptation in broilers. Poultry Science, 100(4), 101–108.
47. Janiszewska, J., & Bartosz, G. (2002). ABTS radical scavenging assay in antioxidant research. Free Radical Research, 36(6), 631–639.
48. Jones, P. H., Williams, K. L., & Roberts, S. A. (2012). Immunomodulatory effects of cytokines in poultry. Developmental & Comparative Immunology, 36(3), 457–465.
49. Kraljevic, P. S., Petrović, M., & Jovanović, M. (2015). Antioxidant enzymes in poultry under stress. Biological Trace Element Research, 168(2), 370–378.
50. Kregel, K. C. (2002). Heat shock proteins in stress response. Physiology, 17(4), 170–174.
51. Liu, Y., Zhang, X., & Chen, H. (2019). Antimicrobial effects of silver nanoparticles in poultry. Nanomedicine, 14(6), 789–803.
52. McDonald, R. E., & Hultin, H. O. (1987). Lipid peroxidation in biological systems. Journal of Food Science, 52(3), 710–712.
53. McGowan, M. W., Artiss, J. D., Strandbergh, D. R., & Zak, B. (1983). Triglyceride determination. Clinical Chemistry, 29(3), 538–542.
54. Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments (9th ed.). Wiley.

Стаття надійшла до редакції 22.07.2026
Стаття пройшла рецензування 25.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

UDC 619:616.5-002-053.2-085.37:612.017.1
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.07

Antonina Haidamak,
Doctor of Veterinary Medicine, PhD Student,
Department of Vertebrate Physiology and Pharmacology
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
ORCID ID: 0009-0003-8826-6064
e-mail: 911.vet.dermatolog@gmail.com

Vadym Ishchenko,
PhD in Veterinary Sciences, Associate Professor
Department of Vertebrate Physiology and Pharmacology
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-8837-022X
e-mail: ischenko_vd@nubip.edu.ua

ALLERGEN-SPECIFIC IMMUNOTHERAPY IN DOGS: CURRENT STATE AND PERSPECTIVES

Abstract

Allergen-specific immunotherapy (ASIT) is the only treatment that directly affects the pathogenic mechanisms of canine atopic dermatitis by modifying the immune response rather than providing symptomatic control. With the growing prevalence of allergic diseases in companion animals, the study of ASIT efficacy, safety, and immunomodulatory properties has become increasingly relevant.

The aim of this review is to summarize current data on the clinical efficacy, immunological changes, and new technological approaches in the application of ASIT in dogs with atopic dermatitis.

The review analyzes recent clinical and experimental studies that evaluate the effects of subcutaneous, intralymphatic, and sublingual immunotherapy, the use of polymerized, mannan-conjugated, and recombinant allergens, as well as laboratory biomarkers for assessing treatment effectiveness.

In most dogs, ASIT promotes stable clinical remission, reduces pruritus and skin inflammation, and decreases the need for corticosteroids and antihistamines. Successful ASIT is accompanied by increased interleukin-10 production, normalization of transforming growth factor β1 levels, expansion of regulatory T lymphocytes, and reduced expression of pro-inflammatory cytokines. The use of glutaraldehyde-modified or mannan-bound allergens lowers the risk of adverse reactions, while recombinant allergens provide high specificity and stability of the immune response.

ASIT has proven to ensure long-term remission even in refractory cases, such as allergic otitis media, thereby improving the quality of life of affected dogs. Promising directions for further development include the improvement of allergen production technologies for ASIT – including polymerized, mannan-conjugated, and recombinant forms — and the implementation of biomarkers for monitoring treatment effectiveness, which will enhance therapy personalization and the duration of clinical stabilization.

Keywords: *dogs, skin, dermatitis, itching, allergen, immunotherapy, ASIT, cytokines, remission.*

Introduction. Canine atopic dermatitis is a polyetiological chronic skin disease of allergic origin that significantly affects the quality of life of both animals and their owners and is a fairly common skin condition in dogs in world and in Ukraine [1, 2]. A similar trend has been observed in Ukraine: based on our own study conducted in Kyiv, the proportion of dogs diagnosed with AD was 16.5% in 2021 and 23.1% in 2022 among patients with chronic dermatological disorders [3]. Comparable results were reported by Zhak et al. (2024), who found that in the city of Vinnytsia, atopic dermatitis accounted for over 20% of all chronic dermatoses in dogs, highlighting its high prevalence among allergic skin diseases [4]. These findings emphasize the growing clinical relevance of the problem and the need for therapeutic strategies targeting the etiopathogenetic mechanisms of AD.

Despite the availability of effective anti-inflammatory drugs, complete recovery can only be achieved by modulating the immune response of the organism. Therefore, allergen-specific immunotherapy is considered the only etiopathogenetic treatment method [4, 5]. According to Kotnik (2023), dogs receiving allergen-specific immunotherapy showed markedly greater improvement in quality of life compared with those treated symptomatically, underscoring the clinical importance of this therapeutic approach [6].

The subcutaneous route of ASIT administration remains the most commonly used, and its efficacy has been confirmed in large retrospective studies, where more than 60% of dogs demonstrated clinical improvement [7, 8]. At the same time, alternative routes of administration are being investigated, such as intralymphatic immunotherapy, which is characterized by a shorter induction period, a potentially faster onset of clinical improvement, and fewer injections, although it requires specialized equipment and operator training [9, 10].

Significant progress has been achieved in the development of novel allergen formulations. The modification of allergens with glutaraldehyde and conjugation with mannan allows for a reduction in allergenicity while stimulating dendritic cells, thereby promoting the induction of immune tolerance [11]. Furthermore, the use of recombinant allergens provides new opportunities for standardization and increased specificity of immunotherapy [12, 13].

The aim of this review is to summarize current data regarding the efficacy, mechanisms of action, and future perspectives of allergen-specific immunotherapy in dogs with atopic dermatitis.

Literature Review. Canine atopic dermatitis (AD) is considered a complex multifactorial disease in which genetic, immunological, and environmental factors play an important role. Hensel et al. (2024), in the report of the International Committee on Allergic Diseases of Animals (ICADA), indicated that a combination of hereditary predisposition, alterations in the skin microbiome, and exposure to aeroallergens are key factors in the development of AD [14]. Marsella (2021) also emphasized the importance of these mechanisms, noting that understanding the interaction between environmental factors and the immune response determines the effectiveness of therapeutic strategies [15].

The efficacy and safety of allergen-specific immunotherapy. Allergen-specific immunotherapy remains the only method that modifies the course of AD by influencing immune mechanisms. Flanagan et al. (2021) emphasized the role of veterinarians in referring patients for ASIT and the impact of owner compliance on the final outcome [16]. Kotnik (2023) demonstrated that ASIT significantly improves the quality of life of animals, while Suici et al. (2021) confirmed that uncontrolled AD substantially reduces the quality of life of both dogs and their owners, highlighting the importance of effective treatment [17]. Mueller et al. (2023), in a systematic review, concluded that immunotherapy remains the most effective method for controlling AD in dogs and cats, showing stable clinical results without significant complications [18].

Immunological mechanisms of action. The efficacy of ASIT is explained by its ability to restore immune tolerance through the stimulation of regulatory T cells and the shift of the immune response from a Th2- to a Th1-dominant profile. Martini et al. (2022) demonstrated increased IL-10 and TGF-β1 levels during treatment, indicating activation of anti-inflammatory mechanisms [19]. A. Majewska et al. (2022) observed a cytokine profile shift toward regulatory dominance, and in a subsequent study, A. Majewska et al. (2023) found transcriptomic changes that indicate suppression of pro-inflammatory gene expression [20, 21].

Modern technologies of allergen design. The development of allergen-specific immunotherapy is closely associated with continuous improvement of allergen extract composition, aimed at reducing allergenicity while maintaining immunogenicity. Modification of proteins with glutaraldehyde is a well-established method to stabilize allergens and minimize the risk of adverse reactions. Guzmán-Fulgencio et al. (2017) demonstrated that such modification in children and adults reduces both local and systemic adverse effects without compromising clinical efficacy, supporting its potential applicability for veterinary analogues [22]. Similar approaches have been adapted in veterinary dermatology, where polymerized and mannan-modified allergenic extracts are employed.

González et al. (2018) found that conjugation of *Dermatophagoides farinae* allergens with mannan enhances their uptake by dendritic cells through mannose receptors, thereby reducing IgE-binding activity while maintaining a specific T-cell response. This was confirmed in pilot study where the mannan–Der f 2 allergoid induced less pruritus and erythema while retaining clinical efficacy in 74% of dogs after 12 months [23].

Another direction of ASIT development focuses on producing recombinant allergens with a high degree of standardization. Olivry et al. (2017) were the first to demonstrate the preventive efficacy of high-dose recombinant immunotherapy with Der f 2 in sensitized dogs [12]. In a recent study, Nagata et al. (2025) employed a pullulan–Der f 2-conjugated allergen that reduced the need for concurrent anti-inflammatory medications and achieved superior clinical control without significant adverse effects [13].

Pali-Schöll and colleagues (2020) emphasized in their interdisciplinary review that polymerized allergens, recombinant proteins, DNA vaccines, and mannan

conjugates form the basis for the next generation of personalized veterinary immunotherapy, tailored to each animal's sensitization profile [11].

Molecular and cellular biomarkers of efficacy. The search for objective markers of ASIT efficacy remains one of the central directions of current research. Martini, Rostaher and Favrot (2022) reported increased plasma levels of IL-10 and TGF-β1 in dogs during treatment, indicating activation of regulatory immune pathways [19]. Majewska et al. (2022) confirmed dynamic changes in cytokine profiles and lymphocyte proportions during therapy, reflecting a shift from Th2-mediated response toward tolerance. Further transcriptomic analysis (Majewska et al., 2023) revealed downregulation of genes associated with inflammatory processes and upregulation of those involved in immune regulation [20, 21]. Favrot and colleagues (2021) proposed the level of C-reactive protein as a simple clinical biomarker that correlates with symptom reduction in dogs responding well to therapy [24]. Marsella (2021) highlighted that integrating clinical outcomes with laboratory parameters could improve prediction of ASIT success and help standardize monitoring approaches in veterinary practice [15].

Safety and clinical observations. The safety of ASIT remains a crucial factor for its widespread clinical application. The study by Weitzer and Mueller (2023), involving more than 200 dogs, confirmed that accelerated ("rush") immunotherapy protocols rarely cause adverse reactions, with most being mild and self-limiting [25]. Kim et al. (2024) described a unique case of successful management of refractory otitis media in a dog using ASIT, highlighting the therapeutic potential of this approach even in atypical clinical scenarios [26]. Similar observations emphasize the universality and safety of modern immunotherapy protocols [18]. Ramio-Lluch and colleagues (2020) noted that the main factor limiting treatment efficacy is not adverse reactions but poor adherence to prescribed schedules, underscoring the importance of close collaboration between veterinarians and pet owners [27].

Clinical efficacy and compliance. Flanagan et al. (2021) surveyed practicing veterinarians and found that only a portion of clinicians consistently recommend ASIT, although the satisfaction rate among those who prescribe it is high [16]. Fennis and colleagues (2022), in a large retrospective study of 664 dogs, reported that clinical improvement is usually observed within a few months of treatment, with maximum efficacy achieved after approximately one year of continuous therapy [7]. Tham and Olivry (2022) clarified that the average time to reach a stable clinical response is around five months, although duration may vary depending on allergen type and prior treatments [8].

Perspectives on ASIT development. Further advancement of allergen-specific immunotherapy focuses on improving delivery methods, standardizing allergen preparations, and incorporating molecular indicators of immune response. In a recent systematic review, Mueller et al. (2023) summarized data on ASIT efficacy in dogs and cats, confirming a consistently high proportion of positive clinical responses in both species [18]. DeBoer (2017) emphasized the necessity of developing novel immunomodulatory strategies aimed at inducing tolerance without triggering

hypersensitivity reactions [5]. Pali-Schöll et al. (2020) predicted that the use of recombinant and polymerized allergens could lead to formulations with improved safety profiles and long-lasting immune memory [11].

Materials and Methods. The review was conducted between 2024 and 2026 at the Department of Vertebrate Physiology and Pharmacology, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv). The aim of the study was to systematize current scientific data on the efficacy, safety, and development trends of allergen-specific immunotherapy (ASIT) in canine atopic dermatitis (AD), as well as to summarize diagnostic and preventive approaches applied in modern veterinary dermatology.

The study involved the analysis of scientific publications focused on the mechanisms of action, clinical efficacy, diagnostic methods, and preventive strategies for canine atopic dermatitis. To achieve the stated objective, the following scientific methods were applied: review and systematization of academic sources, comparative analysis of the effectiveness of various ASIT approaches, critical evaluation of methodological quality in reviewed studies, and synthesis of the obtained data.

The analysis included peer-reviewed scientific articles published over the past 10 years in journals indexed in Scopus, Web of Science, PubMed, and CrossRef databases. The main focus was on studies addressing the pathogenesis, laboratory diagnostics, clinical efficacy, and innovative developments in the implementation of ASIT for dogs.

The research utilized materials from international and national scientific journals, as well as official reports of expert groups, including the International Committee on Allergic Diseases of Animals (ICADA) and leading research institutions specializing in veterinary immunotherapy.

Results and Discussion. A review of recent studies confirms that allergen-specific immunotherapy (ASIT) remains the only treatment for canine atopic dermatitis (AD) capable of modifying the disease's underlying pathophysiological mechanisms and establishing long-term immunological tolerance. According to Marsella (2021), the efficacy of ASIT is determined by its influence on key immunological mechanisms – maintaining the Th1/Th2 cell balance, activating regulatory T cells, and reducing IgE-mediated inflammation [15]. Unlike symptomatic therapies aimed merely at suppressing pruritus or inflammation, ASIT modulates the immune response itself, shifting from a Th2-predominant profile toward regulatory balance, thereby reducing hypersensitivity and clinical signs. The combined molecular and clinical data demonstrate consistent upregulation of anti-inflammatory cytokines and suppression of proinflammatory gene pathways, confirming a genuine immunomodulatory effect [19-21].

Overall response rates of 60–75% have been reported across different populations and protocols, indicating reproducibility and clinical reliability [18, 28]. However, therapeutic failures are often linked to irregular treatment schedules and poor owner compliance rather than lack of efficacy [27]. Kotnik (2023) demonstrated that

quality of life indicators significantly improve following one year of ASIT, including reduced pruritus and enhanced behavioral activity [1].

Safety and tolerability remain among the key criteria for ASIT success. In their multicenter study, T. Weitzer and R. S. Mueller (2023) evaluated 230 cases of accelerated ("rush") ASIT and demonstrated a favorable safety profile even under intensive dosing conditions, confirming that individualized adjustment of protocols is feasible depending on disease severity and patient tolerance [25].

The evolution of immunotherapeutic technologies has led to the introduction of new allergen-delivery routes. Fischer et al. (2020) compared subcutaneous, sublingual, and intralymphatic ASIT, finding that the intralymphatic route achieved clinical effect faster and required fewer injections [9].

The evolution of ASIT is closely related to advances in allergen design. Chemical and structural modifications, such as glutaraldehyde polymerization and mannan or pullulan conjugation, have been shown to reduce allergenicity while preserving immunogenicity [22, 23]. Recombinant allergens, such as Der f 2, demonstrated efficacy in both therapeutic and prophylactic protocols [12]. These findings support the transition from crude allergen extracts toward standardized formulations. Traditional extracts containing natural protein mixtures are progressively being replaced by standardized and modified forms that ensure greater reproducibility and a lower risk of adverse reactions. Pali-Schöll et al. (2020) emphasize that polymerized, recombinant, and carbohydrate-conjugated allergens may form the foundation for next-generation veterinary immunotherapy products with individualized safety and efficacy profiles [11].

One of the most promising examples is the study by Nagata et al. (2025), which utilized a pullulan-conjugated recombinant Der f 2 (dust-mite allergen). This preparation exhibited pronounced anti-inflammatory activity, reduced glucocorticoid requirements, and provided stable clinical control in dogs with severe AD. According to the authors, this allergen form minimizes the risk of systemic reactions, making ASIT feasible even for hypersensitive patients [13].

The work of Mueller et al. (2023) underscored that the standardization of allergen extracts and implementation of molecularly modified or recombinant allergens represent key milestones in the development of personalized veterinary immunotherapy. These technologies enable more precise selection of vaccine components according to each patient's sensitization profile [18].

A major research direction in recent years has been the search for adjuvants that enhance immune responses while simultaneously reducing allergenicity. Pignard et al. (2024) described the potential use of mannan-, virus-like-particle (VLP)-, and flagellin-based adjuvants in allergen-specific vaccines. These technologies activate pattern-recognition receptors (PRRs) of innate immunity, thereby promoting a more balanced Th1/Th2 response. Such approaches open new prospects for developing safe next-generation veterinary vaccines that can not only increase therapeutic efficacy but also promote a more stable and balanced immune response in allergy-prone animals. Innovative allergen-design technologies, including nanoparticles and biopolymers,

create opportunities for controlled antigen release. Such platforms enable modification of allergen pharmacokinetics, ensuring gradual systemic exposure and minimizing the risk of anaphylactic reactions. In their review, Pignard et al. (2024) noted that combining VLP adjuvants with polymerized proteins can significantly enhance therapeutic efficacy without increasing the dose [29].

Alongside allergen development, the optimization of diagnostic methods remains crucial. The results of Stotska (2023) and Morales-Romero et al. (2025) confirm that integrating serological, cytological, and molecular approaches substantially improves diagnostic accuracy and facilitates targeted allergen selection prior to ASIT initiation [30, 31].

An emerging focus in ASIT research involves identifying objective biomarkers of therapeutic success. Quantification of acute-phase proteins such as C-reactive protein [24], together with cytokine profiling and transcriptomic monitoring [21], offers new opportunities for predicting responsiveness and tailoring protocols. This aligns with the broader concept of personalized immunotherapy, in which clinical progress is integrated with immunological and molecular monitoring to guide treatment adjustments.

From the standpoint of immune monitoring, Morales-Romero et al. (2025) stressed that future progress will depend on multiplex panels capable of simultaneously quantifying cytokines, immunoglobulins, and cellular markers. These systems will allow treatment personalization based on the immune profile of each patient [31].

Collectively, available evidence supports ASIT as a pathogenetically justified and well-tolerated treatment for canine AD, offering sustained clinical remission, reduced reliance on anti-inflammatory drugs, and improved quality of life for affected dogs. Future research should focus on standardizing treatment protocols, validating immunological biomarkers, and integrating molecular technologies to optimize individualized therapeutic strategies in veterinary allergology.

Conclusions. Allergen-specific immunotherapy remains the only therapeutic approach capable of influencing the immunopathogenesis of canine atopic dermatitis and achieving long-term clinical remission. Current studies suggest that its efficacy may be associated with the induction of regulatory cytokines such as IL-10 and TGF-β1, a reduction in Th2-mediated responses, and partial restoration of immune balance; however, these mechanisms require further investigation.

Chemical and structural allergen modifications, including glutaraldehyde polymerization, mannan or pullulan conjugation, as well as the development of recombinant allergens, appear to enhance the safety profile of ASIT while maintaining its immunogenic potential and clinical benefit.

Accordingly, the available data confirm the high clinical efficacy and safety of modern ASIT protocols.

In summary, modern ASIT should be viewed not merely as a treatment modality but as a comprehensive immunomodulatory strategy integrating diagnosis, monitoring, and a preventive approach to allergic disorders. The further advancement of this field is linked to the implementation of personalized therapeutic schemes, innovative

adjuvant systems, and multi-biomarker diagnostic tools – developments that are expected to increase therapeutic efficacy, prolong remission, and enhance the quality of life in dogs affected by atopic dermatitis.

Conflict of Interest: The author declares no conflict of interest.

References

1. Kotnik, T. (2023). Quality of life of allergic dogs treated with allergen-specific immunotherapy – A retrospective study. *Veterinary Sciences, 10*(2), 72. https://doi.org/10.3390/vetsci10020072
2. Iovenko, A., Naidich, O., & Pyvovarova, I. (2020). Atopic dermatitis in dogs (literature review). *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral, 97*, 75–78. https://doi.org/10.37000/abbsl.2020.97.09
3. Haidamak, A. (2024). Study of the prevalence of atopic dermatitis in dogs in Kyiv. *Perspectives and Innovations in Science, 2*(36), 1015–1023. https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-2(36)-1015-1023
4. Zhak, Y., Riaba, T., Kostenko, V., & Grushanska, N. (2024). Prevalence of allergic dermatitis in dogs in Vinnytsia region. *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences, 15*(4), 144–159. https://doi.org/10.31548/veterinary4.2024.144
5. DeBoer, D. J. (2017). The future of immunotherapy for canine atopic dermatitis: A review. *Veterinary Dermatology, 28*(1), 25–e6. https://doi.org/10.1111/vde.12416
6. Mueller, R. S. (2019). Update on allergen immunotherapy. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, 49*(1), 1–7. https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2018.08.001
7. Fennis, E. E. M., van Damme, C. M. M., Schlotter, Y. M., Sinke, J. D., Leistra, M. H. G., Bartels, R. T., et al. (2022). Efficacy of subcutaneous allergen immunotherapy in atopic dogs: A retrospective study of 664 cases. *Veterinary Dermatology, 33*(4), 321–e75. doi:org/10.1111/vde.13075.
8. Tham, H. L., & Olivry, T. (2022). Determination of the efficacy rate and time-to-efficacy of subcutaneous immunotherapy in dogs with atopic dermatitis. *Veterinary Dermatology, 33*(2), 155–e44. doi: org/10.1111/vde.13048.
9. Fischer, N. M., Rostaher, A., & Favrot, C. (2020). A comparative study of subcutaneous, intralymphatic and sublingual immunotherapy for dogs with nonseasonal atopic dermatitis. *Veterinary Dermatology, 31*(5), 365–e96. doi: org/10.1111/vde.12860.
10. van Amersfort, K., Vernooij, J. C. M., & van der Lee, A. (2023). Efficacy of short-term combination of intralymphatic allergen immunotherapy and lokivetmab treatment in canine atopic dermatitis: A double-blinded, controlled, randomised study. *Veterinary Dermatology, 34*(5), 373–384. doi: org/10.1111/vde.13165.
11. Pali-Schöll, I., DeBoer, D. J., Alessandri, C., & Jensen-Jarolim, E. (2020). Formulations for Allergen Immunotherapy in Human and Veterinary Patients: New Candidates on the Horizon. *Frontiers in Immunology, 11,* 1697. doi:10.3389/fimmu.2020.01697.
12. Olivry, T., Paps, J., & Dunston, S. K. (2017). Proof of concept of the preventive efficacy of high-dose recombinant mono-allergen immunotherapy in atopic dogs sensitized to Dermatophagoides farinae Der f 2. *Veterinary Dermatology, 28(2),* 183–e40. doi:10.1111/vde.12395.
13. Nagata, M., Kozakai, J., & Yoshida, A. (2025). Immunotherapy using pullulan-conjugated Der f 2 allergen in canine atopic dermatitis: An anti-inflammatory agent-sparing approach. *Veterinary Dermatology, 36*(4), 443–452. doi: org/10.1111/vde.13315.
14. Hensel, P., Saridomichelakis, M., Eisenschenk, M., Tamamoto-Mochizuki, C., Pucheu-Haston, C., & Santoro, D. (2024). Update on the role of genetic factors, environmental factors and allergens in canine atopic dermatitis for the International Committee on Allergic Diseases of Animals (ICADA). *Veterinary Dermatology, 35*(1), 15–24. https://doi.org/10.1111/vde.13210
15. Marsella, R. (2021). Atopic dermatitis in domestic animals: What our current understanding is and how this applies to clinical practice. *Veterinary Sciences, 8*(7), 124. doi: org/10.3390/vetsci8070124.

16. Flanagan, S., Schick, A., Lewis, T. P., Chu-Tater, K., & Rishniw, M. (2021). A survey of primary care practitioners' referral habits and recommendations of allergen-specific immunotherapy for canine and feline patients with atopic dermatitis. *Veterinary Dermatology, 32*(2), 106–e21. doi: org/10.1111/vde.12918.
17. Suici, T., Dărăbuș, G., Mederle, N., Sîrbu, C., Imre, M., & Morariu, S. (2021). The effect of atopic dermatitis on quality of life of affected dogs and their owners in Romania. *Journal of Veterinary Behavior, 46*, 24–30. https://doi.org/10.1016/j.jveb.2021.07.006
18. Mueller, R. S., Olivry, T., Santoro, D., et al. (2023). A systematic review of allergen immunotherapy, a successful therapy for canine atopic dermatitis and feline atopic skin syndrome. *Journal of the American Veterinary Medical Association, 261*(S1), 30–35. doi: org/10.2460/javma.22.12.0576.
19. Martini, F., Rostaher, A., Favrot, C., & Fischer, N. M. (2022). Interleukin-10 and transforming growth factor-beta 1 plasma levels in atopic dogs before and during immunotherapy. *Veterinary Record, 191*(1), e1270. doi: org/10.1002/vetr.1270.
20. Majewska, A., Dembele, K., Dziendzikowska, K., Prostek, A., & Gajewska, M. (2022). Cytokine and lymphocyte profiles in dogs with atopic dermatitis after allergen-specific immunotherapy. *Vaccines (Basel), 10*(7), 1037. doi: org/10.3390/vaccines10071037.
21. Majewska, A., Gajewska, M., & Dembele, K. (2023). Effect of allergen-specific immunotherapy on transcriptomic changes in canine atopic dermatitis. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(14), 11616. doi: org/10.3390/ijms241411616.
22. Guzmán-Fulgencio, M., Caballero, R., Lara, B., Mena, M., Tejera, M., Sastre, A., Subiza, J.-L., Fernández-Caldas, E., & Casanovas, M. (2017). Safety of immunotherapy with glutaraldehyde modified allergen extracts in children and adults. Allergologia et Immunopathologia, 45(2), 198–207. doi:10.1016/j.aller.2016.08.008.
23. González, J. L., Zalve, V., Fernandez-Caldas, E., Cases, B., Subiza, J. L., & Casanovas, M. (2018). A pilot study of immunotherapy in dogs with atopic dermatitis using a mannan–Dermatophagoides farinae allergoid targeting dendritic cells. Veterinary Dermatology, 29(5), 449–e152. doi:10.1111/vde.12679.
24. Favrot, C., Fischer, N. M., Rostaher, A., & Olivry, T. (2021). Evaluation of plasma C-reactive protein as a biomarker in dogs with atopic dermatitis receiving allergen-specific immunotherapy: A pilot study. *Schweiz Arch Tierheilkd, 163*(1), 67–72. https://doi.org/10.17236/sat00287
25. Weitzer, T., & Mueller, R. S. (2023). The safety of rush immunotherapy in the management of canine atopic dermatitis – 230 cases. *Veterinary Dermatology, 34*(5), 385–392. https://doi.org/10.1111/vde.13170
26. Kim, J., Lee, J.-H., Kim, Y., Song, Y., & Kim, H.-J. (2024). Successful management of refractory otitis media using allergen-specific immunotherapy in a dog. *Veterinary Medicine and Science, 10*(8), e70253. https://doi.org/10.1002/vms3.70253
27. Ramio-Lluch, L., Brazís, P., Ferrer, L., & Puigdemont, A. (2020). Allergen-specific immunotherapy in dogs with atopic dermatitis: Is owner compliance the main success-limiting factor? *Veterinary Record*, 187(12), 493. doi:10.1136/vr.106024.
28. Haidamak, A. M. . (2025). Dynamics of clinical parameters in dogs with atopic dermatitis during allergen-specific immunotherapy with glutaraldehyde-polymerized allergoid. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series «Veterinary Sciences»*, *27*(120), 50–55. https://doi.org/10.32718/nvlvet12006
29. Pignard, C., Schiller, H., Seyffer, A., & Schülke, S. (2024). Mannan-, VLP- and flagellin-based adjuvants for allergen-specific immunotherapy: A review of the current literature. *Allergology Select, 8*(1), 127–138. doi: org/10.1007/s40629-024-00298-5
30. Stotska, O. I. (2023). The relevance of determining the specific allergy marker Ig E in the diagnosis of atopic dermatitis in dogs. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Veterinary Medicine, 3*(62), 101–106. doi: org/10.32782/bsnau.vet.2023.3.14.

31. Morales-Romero, R., Lugo-Morales, S., & González-García, E. (2025). Efficacy of diagnostic testing for allergen sensitization in canine atopic dermatitis: A systematic review. *Frontiers in Veterinary Science, 12*, 1551207. doi: org/10.3389/fvets.2025.1551207.

Антоніна Гайдамак,
Лікар ветеринарної медицини, здобувач наукового ступеня доктора філософії
Кафедра фізіології хребетних і фармакології
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID ID 0009-0003-8826-6064
e-mail: 911.vet.dermatolog@gmail.com

Вадим Іщенко,
Кандидат ветеринарних наук, доцент, доцент кафедри фізіології хребетних і фармакології,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID ID 0000-0002-8837-022X
e-mail: ischenko_vd@nubip.edu.ua

АЛЕРГЕН-СПЕЦИФІЧНА ІМУНОТЕРАПІЯ У СОБАК: СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ

Анотація

Алерген-специфічна імунотерапія (ACIT) є єдиним методом лікування, що впливає на патогенетичні механізми атопічного дерматиту у собак, спрямованим на модифікацію імунної відповіді замість симптоматичного контролю. В умовах зростання частоти алергічних захворювань у тварин, дослідження ефективності, безпечності та імуномоделювальних властивостей ACIT набуває особливої актуальності.

Мета роботи – узагальнення сучасних даних про клінічну ефективність, імунологічні зміни та нові технологічні підходи у проведенні ACIT у собак з атопічним дерматитом.

Проведено огляд сучасних клінічних та експериментальних досліджень, що оцінюють вплив підшкірної, інтралімфатичної та сублінгвальної імунотерапії, використання полімеризованих, манан-кон'югованих та рекомбінантних алергенів, а також лабораторних маркерів ефективності лікування.

У більшості собак застосування ACIT сприяє стійкій клінічній ремісії, зниженню інтенсивності свербіжу та запалення шкіри, зменшенню потреби у кортикостероїдах та антигістамінних препаратах. Встановлено, що успішна ACIT супроводжується підвищенням продукції інтерлейкіну-10, нормалізацією рівнів трансформувального фактора росту β1, збільшенням кількості регуляторних Т-лімфоцитів та зменшенням експресії прозапальних цитокінів. Використання модифікованих глутаральдегідом або манан-зв'язаних алергенів знижує ризик побічних реакцій, а рекомбінантні алергени забезпечують високу специфічність та стабільність імунної відповіді.

Алерген-специфічна імунотерапія довела здатність забезпечувати тривалу ремісію навіть у рефрактерних випадках, зокрема при алергічному середньому отиті, покращуючи якість життя тварин. Перспективним напрямом розвитку є вдосконалення технологій створення алергенів для ACIT – полімеризованих, манан-кон'югованих та рекомбінантних форм і впровадження біомаркерів контролю ефективності лікування, що підвищить персоналізацію терапії та тривалість клінічної стабілізації.

Ключові слова: *собаки, шкіра, дерматит, свербіж, алерген, імунотерапія, ACIT, цитокіни, ремісія.*
Стаття надійшла до редакції 12.07.2026
Стаття пройшла рецензування 09.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

УДК 636.09:616.98
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.08

Лазаренко Анастасія,
здобувачка вищої освіти
Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна
ORCID ID: 0009-0000-4066-0394
e-mai: aimeinanxucun@gmail.com

Іовенко Артем Володимирович,
кандидат ветеринарних наук, доцент
доцент кафедри ветеринарної медицини та гігієни
Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна
ORCID ID:0000-0001-5675-220X
e-mail: iovenkoartyom@gmail.com

ПРІОННІ ЗАХВОРЮВАННЯ ТВАРИН: ВІД КОНФОРМАЦІЙНОЇ КОНВЕРСІЇ ДО ПРИНЦИПІВ БІОБЕЗПЕКИ

Анотація

Пріонні захворювання тварин є особливою групою інфекційних патологій, пов'язаних із накопиченням патологічної форми пріонного білка та розвитком незворотних нейродегенеративних змін. Вони характеризуються тривалим інкубаційним періодом, високою летальністю, відсутністю ефективної терапії та значною стійкістю збудника до факторів зовнішнього середовища. У зв'язку з цим пріонні інфекції залишаються актуальною проблемою ветеринарної медицини, що потребує постійного вдосконалення систем діагностики, профілактики та контролю.

Метою роботи було узагальнення сучасних наукових даних щодо біологічних особливостей пріонів, механізмів формування патологічного процесу, епізоотологічних характеристик, методів діагностики, експериментальних напрямів лікування та заходів контролю пріонних захворювань тварин. Матеріали роботи ґрунтуються на аналізі та систематизації результатів сучасних вітчизняних і зарубіжних досліджень.

У статті розглянуто особливості розвитку та поширення основних пріонних захворювань тварин, зокрема губчастоподібної енцефалопатії великої рогатої худоби та скрепі овець. Висвітлено сучасні уявлення щодо ролі конформаційних змін пріонного білка, клітинних механізмів ушкодження нервової тканини та генетичних факторів сприйнятливості організму. Окрему увагу приділено гістопатологічним, молекулярним та ампліфікаційним методам діагностики, а також перспективним експериментальним підходам до терапії та сучасним принципам ветеринарно-санітарного контролю.

Практична цінність роботи полягає у систематизації наукових відомостей, які можуть бути використані для поглиблення розуміння пріонних інфекцій, удосконалення діагностичних підходів, епізоотологічного моніторингу та профілактичних заходів у ветеринарній медицині.

Ключові слова: *пріони, пріонні білки, губчастоподібна енцефалопатія великої рогатої худоби, скрепі овець, патогенез, діагностика, профілактика.*

Вступ. Пріони є групою інфекційних агентів, що асоціюються із летальними дегенеративними розладами, націленими на центральну нервову систему. Патоген представляє собою неправильно згорнутий клітинний білок, позбавлений нуклеїнових кислот та інших складових більш розповсюджених збудників хвороб. Небезпека пріонів полягає у можливості передачі до людини, невиліковності спричинених ними хвороб та стійкості до стандартних способів дезактивації: вони витримують обробку 70% спиртом, гамма- та УФ-опромінення і традиційне автоклавування [1–3].

Оскільки пріони характеризуються високою стійкістю до фізичних і хімічних методів інактивації, повне знешкодження є практично неможливим. У зв'язку з цим у разі виявлення або підозри на інфікування тварин зазвичай застосовується їх знищення без права подальшої реалізації продукції. Крім того, уражені країни зазнають обмежень на експорт живих тварин і продукції тваринництва [1].

За даними Європейського агентства з безпеки харчових продуктів (EFSA), контроль та моніторинг пріонів у країнах ЄС передбачає масштабне тестування тварин, вибракування підозрілих випадків, а також жорсткі обмеження на використання тваринних білків у кормах [4]. Такі заходи, поряд із заборонами експорту живих тварин і продуктів тваринництва з уражених регіонів, формують значне економічне навантаження на аграрний сектор, пов'язане як із прямими витратами на ліквідацію поголів'я, так і з втратою міжнародних ринків збуту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Пріонні захворювання залишаються однією з найскладніших проблем сучасної ветеринарної медицини через невиліковний перебіг, високу летальність, тривалий інкубаційний період та потенційну міжвидову передачу. Найбільший вплив на розвиток досліджень у цій галузі справила епізоотія губчастоподібної енцефалопатії великої рогатої худоби, яка продемонструвала можливість поширення агента через кормові ланцюги та стала поштовхом до запровадження суворих міжнародних заходів біобезпеки, контролю кормів і систем епізоотичного нагляду [5].

Останні дослідження засвідчили, що значення пріонів виходить далеко за межі ветеринарної медицини. Результати, отримані під час вивчення пріонних захворювань тварин, дали змогу суттєво розширити уявлення про механізми патологічного згортання білків. Зокрема, пріоноподібне поширення патологічних білкових агрегатів нині розглядають як один із можливих механізмів розвитку нейродегенеративних захворювань людини, зокрема хвороби Альцгеймера та хвороби Паркінсона. Крім того, концепції й експериментальні підходи, сформовані в галузі пріонології, сьогодні широко застосовуються у сучасних біомедичних дослідженнях [6].

Таким чином, аналіз сучасних наукових досліджень свідчить, що, незважаючи на значний прогрес у вивченні біологічних властивостей пріонів і механізмів розвитку пріонних захворювань, питання їх лабораторної

діагностики, профілактики, перспектив лікування та забезпечення біобезпеки залишаються актуальними й потребують подальшого узагальнення. Це зумовлює необхідність системного аналізу сучасних наукових даних щодо пріонних захворювань тварин.

Мета. Метою даної роботи є узагальнення та системний аналіз сучасних наукових досліджень щодо пріонних захворювань тварин із висвітленням їх біологічних особливостей, патогенезу, епізоотології, сучасних підходів до морфологічної та лабораторної діагностики, перспектив лікування, профілактики та міжнародних підходів до контролю цих захворювань.

Досягнення поставленої мети передбачає виконання таких завдань:

1) характеристику біологічних властивостей пріонів, патогенетичних механізмів розвитку пріонних захворювань та особливостей їхньої епізоотології;

2) аналіз сучасних підходів до лабораторної діагностики;

3) узагальнення сучасних експериментальних підходів до лікування;

4) висвітлення ветеринарно-санітарних та протиепізоотичних заходів з профілактики пріонних захворювань;

5) визначення ролі міжнародних нормативних документів у системі контролю пріонних захворювань тварин.

Виклад основного матеріалу дослідження. ***Біологічні властивості пріонного білка та механізми патогенезу пріонних захворювань.*** Патогенез пріонних захворювань тісно пов'язаний з аномальною конформаційною конверсією білка (PrP) – глікопротеїну клітинної поверхні нейронів [7].

PrP експресується у різних типах клітин: нейронах, лімфоцитах, гліальних та фолікулярних дендритних клітинах. За даними Zayed M., Kook S.-H., Jeong B.-H. (2023), PrP також локалізується на поверхні стовбурових клітин, де бере участь у підтриманні їх плюрипотентності, процесах самовідновлення та диференціації [8].

Крім того, Ajmal M. R. (2023) припускає, що цей білок виконує нейропротекторну функцію, а також бере участь у зв'язуванні та транспорті іонів міді, необхідних для функціонування нервової тканини [9].

За певних умов фізіологічна форма пріону (PrP^{C}) може набути ізоформу (PrP^{Sc}), яка агрерується у токсичні амілоїдні бляшки. Ця структурна конверсія лежить в основі патофізіології кількох захворювань:

1) **хвороби Крейцфельдта–Якоба** у людей;

2) **губчастої енцефалопатії** великої рогатої худоби;

3) **скрепі** у овець;

4) **трансмісивної енцефалопатії** норок та котів.

Ці хвороби відрізняються дегенерацією центральної нервової системи, що морфологічно проявляється появою вакуолей та втратою нейронів [7].

Як пояснюють G. Assis-de-Lemos et al. (2024), накопичення PrP^{Sc} виступає каталізатором секреції мікроглією прозапальних цитокінів. Ці молекули є передумовою трансформації астроцитів у нейротоксичний фенотип, зазначений

як А1. Роль А1-астроцитів полягає у синтезі хемокінового ліганду, який запускає перетворення мікроглії у руйнівну форму, яка провокує апоптоз нейронів. Це, у свою чергу, призводить до подальшого виробництва А1-астроцитів [9].

Таким чином, описані механізми формують самопідтримуваний патологічний каскад, у якому активація мікроглії та астроцитів взаємно посилює запалення і сприяє подальшому ушкодженню нервової тканини.

Водночас не менш важливим є внутрішньоклітинний рівень ушкодження, який характеризується порушенням систем деградації білків і гомеостазу протеїнів у нейронах. Матеріали C. S. Christensen et al. (2024) продемонструвало надмірне накопичення мітофагосом і мітофаголізосом у ділянках, збагачених на PrP^{Sc}. Це свідчить про активацію аутофагії як компенсаторного механізму. Проте надмірне накопичення інфекції поступово перевантажує протеасомно-лізосомну систему клітини, що унеможливлює ефективний кліренс аномальних білків. Унаслідок цього патологічні пріонні агрегати продовжують накопичуватися, що сприяє прогресуванню нейродегенеративних змін [11].

Генетичні фактори сприйнятливості тварин до пріонних інфекцій. Поряд із молекулярними механізмами розвитку пріонних хвороб важливе значення має генетична схильність організму до їхнього виникнення, яка значною мірою визначає ризик конформаційного перетворення пріонного білка та подальшого прогресування патологічного процесу. Групою дослідників у складі Truong C.-G., Choi D.-I., Jeong B.-H. (2026) зазначено, що схильність та резистентність тварин до патогенних агрегатів визначається поліморфністю гену *PRNP*. Автори наводять такий приклад: у собак PrP містить аспарагінову кислоту у кодоні 159, а кінський PrP несе серин у кодоні 167 – обидва алелі стабілізують нейронні білки, знижуючи ймовірність перетворення їх на патологію. Натомість, відсутність 23 кодону у корів пов'язана з підвищеною сприятливістю до губчатої енцефалопатії.

На тлі цього, природні пріонні захворювання не зареєстровані у птахів, а експериментальні дослідження показали, що у курей не розвиваються пріон-асоційовані нейропатології навіть при контакті з інфікованим матеріалом, що автори пов'язують зі структурними відмінностями пташиного PrP: особливостями амінокислотної послідовності та організації N-кінцевого домену, що перешкоджає ефективній конформаційній конверсії [3].

Ще одним підтвердженням ролі генетичних факторів є інформація від C. Acín et al. (2021), які порівнювали овець із різними алелями:

1) **алель VRQ** характеризується наявністю валіну (V) у кодоні 136, аргініну (R) у кодоні 154 та глутаміну (Q) у кодоні 171. Цей варіант асоціюється з підвищеною чутливістю овець до скрепі;

2) **алель ARR** містить аланін (A) у кодоні 136 та аргінін (R) у кодонах 154 і 171. Він, навпаки, пов'язаний із резистентністю до захворювання [12].

Отже, варіабельність гена *PRNP* безпосередньо корелює з рівнем сприйнятливості тварин до пріонів, що підтверджує генетично детермінований характер резистентності та схильності.

Епізоотологічні особливості. Однією із пріонних хвороб свійських тварин є губчатоподібна енцефалопатія великої рогатої худоби. За ствердженнями T. Lestari et al. (2025), основний шлях передачі – аліментарний. Джерелом інфікування виступає м'ясо-кісткове борошно від агентоносіїв: додавання цього компоненту до раціону корів у XX столітті спричинило спалах хвороби у Великобританії, звідки згодом вона поширилася континентом. Автори виявили, що для появи хвороби у мавп достатньо 5 г гомогенату інфікованого мозку.

Клінічні ознаки складаються зі спектру неврологічних та поведінкових проявів, але найголовнішими є тремор та нездатність тварини піднятися. Додаткові симптоми можуть включати депресивні розлади, зниження румінації, брадікардію, втрату ваги, гіперестезію та гіперрефлексію [1].

Ще однією пріонною хворобою є скрепі – зараження дрібних тварин, таких як вівці і кози. Клінічна картина базується на скреготі зубами, свербіжу, атаксії та треморі [12].

З матеріалів D. Sola et al. (2023) видно, що скрепі є більш контагіозною патологією, аніж губчатоподібна енцефалопатія великої рогатої худоби завдяки більшої кількості шляхів передачі:

1) **горизонтальний** – прямий зв'язок агентоносія та здорової тварини або через контамінацію довкілля пріонами, які потрапляють туди через біологічні рідини, плацентарні залишки або туші інфікованих тварин;

2) **вертикальний** – внутрішньоутробно, під час пологів (через зараження плацентою) або у постнатальний період (шляхом проковтування інфікованого молозива або молока);

3) **ятрогенний** – передача через ін'єкції, переливання крові або інших біологічних продуктів із тканин інфікованих тварин [7].

Особливий інтерес становлять дослідження, спрямовані на оцінку можливості міжвидової трансмісії пріонів. Прикладом цього є матеріали T. Konold et al. (2023), у яких описано, що телятам інтрацеребрально вводився гомогенат мозку, отриманий від овець з атиповою формою скрепі. У ході експерименту лише у одного теляти протягом 48 місяців виявлено клінічні ознаки, схожі на губчату енцефалопатію великої рогатої худоби.

Після загибелі піддослідних зразки нервової тканини досліджувалися за допомогою стандартних методів діагностики – блоттингу та імуногістохімії – але наявність пріонного агента не була виявлена. Біологічні проби на мишах також були безрезультатними. Лише метод циклічної ампліфікації (PMCA) діагностував пріонну активність [13]. Отримані результати свідчать про міжвидову трансмісію агента, а також демонструють обмежену чутливість стандартних методів діагностики пріонних інфекцій.

У зв'язку із наданою інформацією, особливого значення набуває використання сучасних високочутливих методів діагностики, спрямованих на раннє виявлення пріонної інфекції навіть за відсутності позитивних результатів традиційних тестів.

Морфологічні та молекулярні методи діагностики. Для розрізнення класичних та атипових форм патологій результативним є невропатологічне дослідження, оскільки воно дозволяє виявляти клітинну локалізацію агентів, які варіюються залежно від пріонного штаму та генотипу господаря. D. Sola et al. пояснює: класичні форми пріонних хвороб фарбуються зазвичай двосторонньо, переважно локалізуються у довгастому мозку, у той час як при атипових формах відкладення проявляються у мозочковій та церебральній корі [7].

Методика невропатологічного дослідження описана у матеріалах Olech M. (2023):

1) зразок шириною 0,5-1 см відбирається з довгастого мозку на рівні обекса, з ядра спинного тракту трійчастого нерва та дорсального ядра блукаючого нерва;

2) матеріал фіксується у 4% розчині формальдегіду строком не менше на 3–5 діб (з метою інгібування автопротеолізу та контамінації);

3) після закінчення зазначеного терміну тканина проходить обробку 98%-ою мурашиною кислотою протягом 1 години та подальше ретельне миття проточною водою, що зменшує інфекційність пріонів;

4) тканина вбудовується у парафінові блоки та розподіляється на зрізи товщиною 5 мкм;

5) одразу після цього зразки фарбуються гематоксиліном та еозином і пізніше аналізуються під світловим мікроскопом для визначення тяжкості та розподілу вакуолізації.

Позитивним результат вважається за такої вакуоляції нейропілу сірої речовини та нейронів, яка розподілена рівномірно.

Недоліком цього методу є той факт, що інколи зразки стають непридатними для дослідження. Передумовою є:

1) **високі температури**;

2) **затримка посмертного дослідження**, внаслідок чого мозкові тканини зазнають серйозної аутолітичної деградації;

3) **заморожування зразків**, що викликає тканинне пошкодження;

4) **низькоякісна фіксація**.

Всі ці чинники можуть призвести до утворення артефактів вакуолей, які призведуть до обмеженої інтерпретації [14].

D. Sola et al. пропонують застосування молекулярних підходів для підтвердження діагнозу. Чинне місце з них, на думку авторів, займають біомаркери – це вимірювані індикатори, які можуть надати інформацію про наявність, прогресування або тяжкість захворювання. Під час пріонних захворюваннь біомаркерами можуть бути молекули, які відображають патологічні процеси, пов'язані з накопиченням аномальних білків. Найбільше значення з них належить двом типам молекул:

1) **мікроРНК (міРНК)** – некодуючі молекули довжиною близько 22 нуклеотидів, які регулюють посттранскрипційну експресію генів і синтез білка.

Вони секретуються ураженими тканинами, потрапляючи до спинномозкової рідини та крові, де зв'язуються із білками, утворюючи стабільні комплекси. Цей метод відрізняється високою точністю: при використанні його на мишачих моделях було виявивлено дерегуляцію молекул задовго до появи клінічних ознак;

2) **глікопротеїн YKL-40**: підвищені рівні спостерігалися у мишачих моделей скрепі на доклінічних і клінічних стадіях захворювання [7].

Аналіз наукових джерел свідчить, що інколи пряме виявлення збудника є складним через низькі рівні PrP^{Sc} в організмі, що вимагає використання методу ампліфікації (PMCA). Методика базується на процесі реплікації білку: PrP^{Sc} інкубується разом із надлишком PrP^{C} зі здорового мозку, піддаючись послідовним циклам інкубації та обробки ультразвуком. Під час інкубаційної фази олігомер PrP^{Sc} зв'язується із надлишком PrP^{C}, що призводить до росту амілоїдного волокна. У фазі ультразвукової обробки волокно фрагментується, утворюючи численні копії білку. Кількість PrP^{Sc} зростає протягом кількох послідовних циклів інкубації та обробки ультразвуком [7, 14].

Для підвищення точності цього аналізу E. Kobashigawa et al. (2024) пропонують процедури попереднього аналітичного збагачення, до яких належать:

1) **осадження фосфорно-вольфрамовою кислотою натрію (NaPTA)** – включає інкубацію зразків із саркозилом і NaPTA із постійним перемішуванням та подальшим центрифугуванням для осадження пріонного білка;

2) **мічення антитілами** – базується на зв'язуванні моноклонального антитіла, специфічного до PrP^{Sc};

3) **зв'язування магнітних частинок** – використовує суперпарамагнітні кульки оксиду заліза для захоплення пріонів, здатних до ампліфікації, у зразках [15].

Зазначені підходи до детекції PrP^{Sc} ґрунтуються на його фізико-хімічних властивостях, зокрема схильності до агрегації та здатності до специфічного зв’язування з білковими структурами. Водночас ті ж особливості пріонного білка становлять серйозну проблему для цілеспрямованого терапевтичного впливу. Тому однією з ключових проблем у розробці лікування є необхідність штучного подолання імунотолерантності.

Перспективні терапевтичні стратегії. Групою авторів на чолі із Liu F. (2025) було запропоновано низку експериментальних стратегій, спрямованих на індукцію імунної відповіді:

1) **використання модифікованих форм PrP як імуногенів** – застосування усічених або зшитих пептидів для індукції імунної відповіді;

2) **вакцини на основі епітопів PrP** – використання коротких фрагментів пріону, які здатні стимулювати утворення антитіл;

3) **векторні системи доставки антигенів** – використання бактеріальних або вірусних векторів для обходу імунної толерантності та посилення імунної відповіді на PrP^{Sc}.

4) **ад'ювантні стратегії** – поєднання PrP-антигенів із потужними ад'ювантами (наприклад, термічно інактивованими мікобактеріями) для підсилення імунної відповіді [16].

Останнім часом все більша увага дослідників приділяється також альтернативним клітинним механізмам регуляції протеостазу. Інтерес становлять ендогенні системи, які можуть інгібувати поширення патологічних конформацій білків. У якості прикладу можна навести матеріали C. S. Christensen et al. (2024), які вказують, що на поширення пріонів впливає присутність білків–шаперонів. З цього випливає, що посилення дії шаперонів може бути потенційним способом запобігання розвитку пріонних нейродегенерацій [11].

Разом із підходами, спрямованими на стабілізацію протеостазу та обмеження поширення патологічних білкових конформацій, у сучасних дослідженнях також активно розглядаються стратегії відновлення уже пошкоджених тканин та компенсації нейродегенеративних змін, що виникають на пізніх стадіях пріонної патології. T. Lestari et al. (2025) пропонують використання технологій стовбурових клітин, підкреслюючи їхній потенціал у регенерації тканин при масивних апоптозах. Водночас автори зазначають низку суттєвих обмежень: ризик імунного відторгнення трансплантованих клітин та можливість індукції онкогенних процесів [1].

Система епізоотологічного нагляду та ветеринарно-санітарного контролю. Незважаючи на розвиток експериментальних терапевтичних підходів, спрямованих на патогенез пріонних інфекцій, на сучасному етапі ключове значення у ветеринарній практиці має саме недопущення поширення збудника на популяційному рівні. Профілактичні заходи базуються на міжнародно визнаних підходах, зокрема положеннях Європейського Союзу, визначених Регламентом (ЕС) No 999/2001, які можуть бути адаптовані до національних систем ветеринарної безпеки.

Одним із ключових напрямів виступає контроль кормової безпеки, який передбачає повну заборону використання перероблених тваринних білків у годівлі жуйних тварин, що є одним із основних механізмів переривання передачі пріонного агента через харчовий ланцюг.

Важливим елементом профілактики є система видалення специфічних тканин ризику, до яких належать тканини центральної нервової системи та спинний мозок. Їхнє обов'язкове вилучення з харчового та кормового ланцюга суттєво знижує ймовірність контамінації продукції тваринного походження.

Суттєву роль відіграє також епізоотологічний нагляд, що включає активне тестування тварин із груп підвищеного ризику, лабораторну діагностику підозрілих випадків та моніторинг популяцій великої рогатої худоби та дрібних жуйних. Невід'ємним є обстеження тварин із неврологічними або поведінковими розладами тривалістю щонайменше 15 діб, які не піддаються лікуванню, а також тварин, що знаходяться у стані агонії без ознак інфекційної або травматичної патології.

Особлива увага приділяється віковому критерію відбору: дослідження переважно охоплюють найстаріших тварин у популяції, однак усі цільові особини повинні бути віком понад 12 місяців, що підвищує чутливість системи епізоотологічного моніторингу.

У разі виявлення або підозри на пріонну інфекцію застосовуються заходи офіційного ветеринарного контролю, що включають ізоляцію тварин, обмеження їх переміщення, простежуваність походження тварин, а також вилучення та знищення потенційно зараженого матеріалу відповідно до встановлених процедур біобезпеки [4].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведений аналіз сучасних наукових джерел дозволив узагальнити дані щодо біологічних властивостей пріонів, механізмів розвитку пріонних захворювань та особливостей їх епізоотології. Встановлено, що патогенетичною основою розвитку пріонних інфекцій є конформаційне перетворення нормального клітинного пріонного білка PrP у патологічну форму PrP^{Sc}, що супроводжується порушенням протеостазу, накопиченням білкових агрегатів, активацією нейрозапальних процесів та прогресуючою дегенерацією нервової тканини. Розглянуто особливості перебігу та поширення губчастоподібної енцефалопатії великої рогатої худоби та скрепі овець, включаючи основні шляхи передачі, клінічні прояви та фактори, що впливають на сприйнятливість різних видів тварин.

Аналіз сучасних підходів до лабораторної діагностики показав, що найбільш ефективним є комплексне застосування гістопатологічних, невропатологічних, молекулярних та ампліфікаційних методів дослідження. Визначено, що традиційні методи можуть мати обмеження через низький рівень накопичення PrP^{Sc}, тому перспективним напрямом є використання високочутливих методів ампліфікації та процедур попереднього збагачення зразків, які підвищують точність виявлення патологічного пріонного білка.

Узагальнення сучасних експериментальних підходів до лікування свідчить, що перспективними напрямами залишаються імунотерапевтичні стратегії, спрямовані на подолання імунної толерантності до PrP, регуляція клітинного протеостазу за участю білків-шаперонів, а також застосування технологій стовбурових клітин для потенційного відновлення ушкодженої нервової тканини. Водночас зазначені підходи перебувають на стадії експериментального вивчення та потребують подальших досліджень для оцінки їх ефективності, безпечності та можливості практичного застосування.

Перспективи подальших досліджень у сфері пріонних захворювань пов’язані з удосконаленням методів ранньої діагностики, пошуком нових біомаркерів, дослідженням ролі поліморфізмів гена PRNP у формуванні сприйнятливості тварин та розробкою нових терапевтичних стратегій. Водночас провідне значення у системі контролю пріонних захворювань і надалі матимуть ветеринарно-санітарні та протиепізоотичні заходи, що включають контроль

кормової безпеки, вилучення специфічних тканин ризику, проведення епізоотологічного моніторингу та виконання міжнародних вимог біобезпеки.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації.

Список використаної літератури

1. Bovine Spongiform Encephalopathy: A review of current knowledge and challenges / T. Lestari et al. *Open Veterinary Journal*. 2025. Vol. 15, no. 1. P. 1. URL: https://doi.org/10.5455/ovj.2025.v15.i1.5
2. Haley N. J., Richt J. A. Classical bovine spongiform encephalopathy and chronic wasting disease: two sides of the prion coin. *Animal Diseases*. 2023. Vol. 3, no. 1. URL: https://doi.org/10.1186/s44149-023-00087-7
3. Truong C.-G., Choi D.-I., Jeong B.-H. Novel polymorphisms and functional characterization of the prion protein gene in sparrows (Passer montanus). *Frontiers in Veterinary Science*. 2026. Vol. 13. URL: https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1782728
4. Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2001 laying down rules for the prevention, control and eradication of certain transmissible spongiform encephalopathies. Official Journal of the European Communities. 2001. L 147. P. 1–40.
5. Holman A. P., Kurouski D. Prion diseases: Lessons from historical outbreaks and potential emerging ones. *Protein Science*. 2025. Vol. 34, no. 6. URL: https://doi.org/10.1002/pro.70175
6. The Importance of Prion Research / S. Eid et al. *Biochemistry and Cell Biology*. 2024. URL: https://doi.org/10.1139/bcb-2024-0018
7. Diagnosis in Scrapie: Conventional Methods and New Biomarkers / D. Sola et al. *Pathogens*. 2023. Vol. 12, no. 12. P. 1399. URL: https://doi.org/10.3390/pathogens12121399
8. Zayed M., Kook S.-H., Jeong B.-H. Potential Therapeutic Use of Stem Cells for Prion Diseases. *Cells*. 2023. Vol. 12, no. 19. P. 2413. URL: https://doi.org/10.3390/cells12192413
9. Ajmal M. R. Protein Misfolding and Aggregation in Proteinopathies: Causes, Mechanism and Cellular Response. *Diseases*. 2023. Vol. 11, no. 1. P. 30. URL: https://doi.org/10.3390/diseases11010030
10. Interactions between Cytokines and the Pathogenesis of Prion Diseases: Insights and Implications / G. Assis-de-Lemos et al. *Brain Sciences*. 2024. Vol. 14, no. 5. P. 413. URL: https://doi.org/10.3390/brainsci14050413
11. Structural Variations of Prions and Prion-like Proteins Associated with Neurodegeneration / C. S. Christensen et al. *Current Issues in Molecular Biology*. 2024. Vol. 46, no. 7. P. 6423–6439. URL: https://doi.org/10.3390/cimb46070384
12. Classical and Atypical Scrapie in Sheep and Goats. Review on the Etiology, Genetic Factors, Pathogenesis, Diagnosis, and Control Measures of Both Diseases / C. Acín et al. *Animals*. 2021. Vol. 11, no. 3. P. 691. URL: https://doi.org/10.3390/ani11030691
13. Experimental transmission of ovine atypical scrapie to cattle / T. Konold et al. *Veterinary Research*. 2023. Vol. 54, no. 1. URL: https://doi.org/10.1186/s13567-023-01224-3
14. Olech M. Conventional and State-of-the-Art Detection Methods of Bovine Spongiform Encephalopathy (BSE). *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, no. 8. P. 7135. URL: https://doi.org/10.3390/ijms24087135
15. RT-QuIC detection of chronic wasting disease prion in platelet samples of white-tailed deer / E. Kobashigawa et al. *BMC Veterinary Research*. 2024. Vol. 20, no. 1. URL: https://doi.org/10.1186/s12917-024-04005-y
16. Liu F., Lü W., Liu L. New implications for prion diseases therapy and prophylaxis. *Frontiers in Molecular Neuroscience*. 2024. Vol. 17. URL: https://doi.org/10.3389/fnmol.2024.1324702

Anastasiia Lazarenko,
Higher Education Student,
Mykolaiv National Agrarian University,
Mykolaiv, Ukraine
ORCID ID: 0009-0000-4066-0394
e-mail: aimeinanxucun@gmail.com

Artem Iovenko,
PhD in Veterinary Sciences, Associate Professor at the
Department of Veterinary Medicine and Hygiene,
Mykolaiv National Agrarian University,
Mykolaiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-5675-220X
e-mail: iovenkoartyom@gmail.com

ANIMAL PRION DISEASES: FROM CONFORMATIONAL CONVERSION TO PRINCIPLES OF BIOSECURITY

Abstract

Prion diseases of animals represent a specific group of infectious disorders associated with the accumulation of the pathological form of prion protein and the development of irreversible neurodegenerative changes. They are characterized by a prolonged incubation period, high mortality, the absence of effective therapy, and considerable resistance of the agent to environmental factors. Therefore, prion infections remain an important problem in veterinary medicine, requiring continuous improvement of diagnostic, preventive, and control systems.

The aim of this study was to summarize current scientific data on the biological properties of prions, mechanisms of pathological process development, epidemiological characteristics, diagnostic approaches, experimental therapeutic strategies, and control measures for animal prion diseases. The study was based on the analysis and systematization of the results of modern national and international scientific publications.

The article discusses the development and spread of the main animal prion diseases, including bovine spongiform encephalopathy and scrapie in sheep. Modern concepts concerning the role of prion protein conformational changes, cellular mechanisms of nervous tissue damage, and genetic factors influencing host susceptibility are presented. Particular attention is paid to histopathological, molecular, and amplification-based diagnostic methods, as well as promising experimental therapeutic approaches and modern principles of veterinary sanitary control.

The practical value of the study lies in the systematization of scientific information that can be used to improve understanding of prion infections, enhance diagnostic approaches, epidemiological surveillance, and preventive measures in veterinary medicine.

Keywords: *prions, prion proteins, bovine spongiform encephalopathy, scrapie in sheeps, pathogenesis, diagnosis, prevention.*

Reference

1. Bovine Spongiform Encephalopathy: A review of current knowledge and challenges / T. Lestari et al. *Open Veterinary Journal*. 2025. Vol. 15, no. 1. P. 1. URL: https://doi.org/10.5455/ovj.2025.v15.i1.5
2. Haley N. J., Richt J. A. Classical bovine spongiform encephalopathy and chronic wasting disease: two sides of the prion coin. *Animal Diseases*. 2023. Vol. 3, no. 1. URL: https://doi.org/10.1186/s44149-023-00087-7

3. Truong C.-G., Choi D.-I., Jeong B.-H. Novel polymorphisms and functional characterization of the prion protein gene in sparrows (Passer montanus). *Frontiers in Veterinary Science*. 2026. Vol. 13. URL: https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1782728
4. Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2001 laying down rules for the prevention, control and eradication of certain transmissible spongiform encephalopathies. Official Journal of the European Communities. 2001. L 147. P. 1–40.
5. Holman A. P., Kurouski D. Prion diseases: Lessons from historical outbreaks and potential emerging ones. *Protein Science*. 2025. Vol. 34, no. 6. URL: https://doi.org/10.1002/pro.70175
6. The Importance of Prion Research / S. Eid et al. *Biochemistry and Cell Biology*. 2024. URL: https://doi.org/10.1139/bcb-2024-0018
7. Diagnosis in Scrapie: Conventional Methods and New Biomarkers / D. Sola et al. *Pathogens*. 2023. Vol. 12, no. 12. P. 1399. URL: https://doi.org/10.3390/pathogens12121399
8. Zayed M., Kook S.-H., Jeong B.-H. Potential Therapeutic Use of Stem Cells for Prion Diseases. *Cells*. 2023. Vol. 12, no. 19. P. 2413. URL: https://doi.org/10.3390/cells12192413
9. Ajmal M. R. Protein Misfolding and Aggregation in Proteinopathies: Causes, Mechanism and Cellular Response. *Diseases*. 2023. Vol. 11, no. 1. P. 30. URL: https://doi.org/10.3390/diseases11010030
10. Interactions between Cytokines and the Pathogenesis of Prion Diseases: Insights and Implications / G. Assis-de-Lemos et al. *Brain Sciences*. 2024. Vol. 14, no. 5. P. 413. URL: https://doi.org/10.3390/brainsci14050413
11. Structural Variations of Prions and Prion-like Proteins Associated with Neurodegeneration / C. S. Christensen et al. *Current Issues in Molecular Biology*. 2024. Vol. 46, no. 7. P. 6423–6439. URL: https://doi.org/10.3390/cimb46070384
12. Classical and Atypical Scrapie in Sheep and Goats. Review on the Etiology, Genetic Factors, Pathogenesis, Diagnosis, and Control Measures of Both Diseases / C. Acín et al. *Animals*. 2021. Vol. 11, no. 3. P. 691. URL: https://doi.org/10.3390/ani11030691
13. Experimental transmission of ovine atypical scrapie to cattle / T. Konold et al. *Veterinary Research*. 2023. Vol. 54, no. 1. URL: https://doi.org/10.1186/s13567-023-01224-3
14. Olech M. Conventional and State-of-the-Art Detection Methods of Bovine Spongiform Encephalopathy (BSE). *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, no. 8. P. 7135. URL: https://doi.org/10.3390/ijms24087135
15. RT-QuIC detection of chronic wasting disease prion in platelet samples of white-tailed deer / E. Kobashigawa et al. *BMC Veterinary Research*. 2024. Vol. 20, no. 1. URL: https://doi.org/10.1186/s12917-024-04005-y
16. Liu F., Lü W., Liu L. New implications for prion diseases therapy and prophylaxis. *Frontiers in Molecular Neuroscience*. 2024. Vol. 17. URL: https://doi.org/10.3389/fnmol.2024.1324702

Стаття надійшла до редакції 26.07.2026
Стаття пройшла рецензування 28.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

УДК 636.8.084:636.087:619
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.09

Олена Маценко,
кандидат ветеринарних наук, доцент, завідувач кафедри внутрішніх хвороб і клінічної діагностики тварин,
Державний біотехнологічний університет,м. Харків, Україна
ORCID ID: 0000-0002-1782-4650
e-mail: elenam57722@gmail.com

Людмила Кущ,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри гігієни, санітарії та ветеринарного права,
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID ID: 0000-0002-6076-5545
e-mail: kushch.luidmila@gmail.com

Юрій Щепетільніков,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри внутрішніх хвороб і клінічної діагностики тварин,
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID ID: 0000-0001-7275-0079
e-mail: yurij3057661@gmail.com

Юлія Собакар,
кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри внутрішніх хвороб і клінічної діагностики тварин,
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID ID: 0000-0002-4236-7236
e-mail: Zemlanoy1980@gmail.com

Діана Махотіна, кандидат ветеринарних наук, асистент кафедри внутрішніх хвороб і клінічної діагностики тварин,
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID ID: 0000-0002-4169-5625
e-mail: makhotina.diana@gmail.com

ВПЛИВ КОМЕРЦІЙНИХ РАЦІОНІВ НА НУТРИТИВНИЙ ТА МЕТАБОЛІЧНИЙ СТАТУС СТЕРИЛІЗОВАНИХ ДОМАШНІХ КОТІВ

Анотація

Раціональна годівля стерилізованих котів є одним із ключових чинників підтримання оптимального нутритивного статусу, метаболічного здоров'я та загального добробуту

тварин. Після гонадектомії у котів відбуваються зміни енергетичного обміну, регуляції апетиту та рівня фізичної активності, що може підвищувати ризик збільшення маси тіла за невідповідності раціону зміненим фізіологічним потребам організму.

Дослідження проведено на 10 клінічно здорових стерилізованих котах віком 2–6 років. Тварин розподілили на дві групи по 5 особин залежно від використаного раціону. Коти I групи отримували сухий корм Purina Friskies Sterilized Cats, тварини II групи — Club 4 Paws Sterilised. Тривалість дослідження становила 90 діб. Оцінювали масу тіла, індекс кондиції тіла (Body Condition Score, BCS), клінічні показники добробуту (стан шерсті, шкіри, слизових оболонок, рівень активності), а також біохімічні показники сироватки крові.

Встановлено, що у котів I групи середня маса тіла збільшилася з 4,3±0,4 до 5,1±0,5 кг, що відповідало приросту 18,6 %. У 80 % тварин цієї групи показник BCS підвищився до 7–8 балів. У котів II групи збільшення маси тіла було менш вираженим (з 4,2±0,3 до 4,4±0,3 кг; +4,8 %), при цьому у 80 % тварин зберігався оптимальний показник BCS (5 балів).

У котів, які отримували Club 4 Paws Sterilised, протягом періоду спостереження відзначали стабільні клінічні показники добробуту: блискучий шерстний покрив, еластичність шкіри та збереження активності. У тварин I групи частіше спостерігали зниження блиску шерсті (60 %), появу лупи (40 %) та зменшення ігрової активності (60 %).

Біохімічні показники крові у тварин обох груп залишалися в межах фізіологічних значень. Водночас у котів I групи відзначали тенденцію до вищих показників ліпідного обміну: холестеролу (5,4±0,6 ммоль/л) та триацилгліцеролів (1,25±0,18 ммоль/л) порівняно з котами II групи (4,3±0,5 та 0,92±0,15 ммоль/л відповідно).

Отримані результати свідчать, що оцінка раціонів для стерилізованих котів повинна ґрунтуватися на комплексному підході з урахуванням не лише маси тіла, але й індексу кондиції, клінічних показників добробуту та метаболічного профілю організму. Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості використання комплексної оцінки нутритивного статусу для вибору оптимального раціону стерилізованих котів у ветеринарній практиці.

***Ключові слова**: коти, комерційні раціони, нутритивний статус, індекс кондиції тіла, метаболічний профіль, біохімічні показники крові, добробут тварин.*

Вступ. Раціональна годівля домашніх котів є одним із ключових факторів збереження їх здоров’я, профілактики метаболічних порушень та підтримання належного рівня добробуту. В умовах домашнього утримання, особливо за обмеженої фізичної активності, баланс між надходженням поживних речовин та енергетичними витратами організму набуває особливого значення.

Найбільш чутливою групою щодо порушення цього балансу є стерилізовані тварини, у яких після гонадектомії відбуваються зміни гормональної регуляції, харчової поведінки та інтенсивності обмінних процесів [1, 15, 18]. Стерилізація котів широко застосовується у ветеринарній практиці як ефективний метод контролю репродукції та профілактики ряду захворювань. Однак поряд із позитивними аспектами дана процедура супроводжується змінами метаболічного статусу, що зумовлює необхідність адаптації підходів до годівлі таких тварин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За даними сучасних досліджень, після стерилізації у котів відбувається зниження енергетичних витрат, яке у поєднанні зі збереженням або підвищенням апетиту створює передумови для поступового збільшення маси тіла за відсутності відповідної

корекції годівлі [1, 2]. Проблема надлишкової маси тіла у котів на сьогодні розглядається не лише як зміна зовнішньої кондиції, а як комплексне порушення нутритивного статусу, що супроводжується змінами обмінних процесів та може негативно впливати на якість життя тварини. Тому контроль маси тіла і визначення індексу кондиції тіла (Body Condition Score, BCS) є важливими критеріями оцінки ефективності годівлі та загального стану організму [10, 14, 17]. Водночас результати проведених досліджень свідчать, що розвиток ожиріння у стерилізованих котів не можна розглядати як неминучий наслідок операції. Вирішальне значення мають енергетична цінність раціону, якість джерел поживних речовин, співвідношення білків, жирів і вуглеводів, а також режим годівлі [11, 18].

На сучасному ринку представлена значна кількість комерційних кормів для стерилізованих котів, які відрізняються складом, джерелами білка, вмістом жиру, вуглеводів, мінеральних речовин та функціональних компонентів. При цьому належність корму до певної комерційної категорії не завжди повною мірою характеризує його вплив на нутритивний статус тварин, тому оцінка фактичної ефективності раціонів залишається актуальним питанням [3, 6, 8, 13]. Незважаючи на значну кількість досліджень щодо впливу стерилізації на метаболічний статус котів, недостатньо висвітленими залишаються питання порівняльної оцінки комерційних раціонів різних сегментів за комплексом клінічних та лабораторних показників у стерилізованих домашніх котів.

Метою дослідження було оцінити вплив комерційних раціонів різних сегментів на нутритивний та метаболічний статус стерилізованих домашніх котів за показниками маси тіла, індексу кондиції (BCS), клінічних критеріїв добробуту та біохімічного профілю сироватки крові.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводили на 10 клінічно здорових стерилізованих домашніх котах віком від 2 до 6 років. Вибір стерилізованих тварин як об’єкта дослідження був обумовлений особливостями їх енергетичного обміну та необхідністю контролю нутритивного статусу після гонадектомії [15, 18].

Перед початком досліду всі тварини були клінічно обстежені та не мали ознак гострих або хронічних захворювань. Коти утримувалися в домашніх умовах зі звичним рівнем фізичної активності. Протягом усього періоду спостереження умови утримання, доступ до води та загальний режим догляду залишалися незмінними. Тривалість дослідження становила 90 діб. За принципом аналогів тварин було розподілено на дві групи по 5 особин з урахуванням віку, маси тіла та початкового нутритивного статусу. На початку дослідження всі коти мали оптимальний індекс кондиції тіла (Body Condition Score, BCS) — 5 балів за 9-бальною шкалою.

Коти І групи отримували повнораціонний сухий корм для стерилізованих котів *Purina Friskies Sterilized Cats (Nestlé Purina PetCare)*, що належить до масового сегмента комерційних раціонів. Тваринам ІІ групи застосовували повнораціонний сухий корм *Club 4 Paws Sterilised (Україна)*, який

позиціонується виробником як раціон преміум-сегмента для стерилізованих котів.

Враховуючи, що комерційні раціони для котів можуть відрізнятися за співвідношенням основних поживних речовин, джерелами протеїну, енергетичною цінністю та відповідністю міжнародним рекомендаціям щодо годівлі [8, 9, 13], такий підхід дозволяв оцінити особливості впливу раціонів різних сегментів на клінічні показники, кондицію тіла та метаболічний статус стерилізованих тварин.

Годівлю проводили відповідно до рекомендацій виробників із розрахунком добової кількості корму залежно від маси тіла тварин. Доступ до питної води був необмеженим. Оцінку нутритивного статусу та показників добробуту здійснювали відповідно до рекомендацій WSAVA Global Nutrition Guidelines [20]. Основним показником стану вгодованості був індекс кондиції тіла (Body Condition Score, BCS), який визначали за 9-бальною системою шляхом візуальної оцінки та пальпації ділянки ребер, попереку й основи хвоста [14].
Масу тіла тварин визначали до початку досліду та кожні 30 діб протягом 90-денного періоду спостереження з точністю до 0,1 кг. Додатково проводили клінічну оцінку показників добробуту тварин: стану шерстного покриву (блиск, густота, наявність лупи), стану шкіри, видимих слизових оболонок (колір, вологість), а також загальної активності та поведінкових реакцій.

Для оцінки впливу досліджуваних раціонів на метаболічний стан організму проводили біохімічне дослідження сироватки крові. Кров у тварин відбирали до початку експерименту та через 90 діб застосування відповідного раціону після 10–12-годинної голодної витримки.

Після формування згустку сироватку відокремлювали шляхом центрифугування та використовували для лабораторних досліджень. Біохімічні показники сироватки крові визначали на автоматичному біохімічному аналізаторі Mindray BS (Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd., Китай) із використанням стандартних діагностичних наборів відповідно до рекомендацій виробника. Визначали показники білкового обміну (загальний білок, альбумін), функціонального стану печінки (активність аланінамінотрансферази (АЛТ), аспартатамінотрансферази (АСТ), лужної фосфатази), ниркового профілю (сечовина, креатинін), вуглеводного обміну (глюкоза) та ліпідного обміну (загальний холестерол і триацилгліцероли).

Усі клінічні дослідження, визначення маси тіла та відбір біологічного матеріалу проводили в однакових умовах для зменшення впливу фізіологічних коливань.

Статистичну обробку отриманих результатів проводили з використанням методів варіаційної статистики. Кількісні показники наведено у вигляді середнього арифметичного значення та стандартного відхилення (M±SD).

Для оцінки достовірності відмінностей між досліджуваними групами застосовували t-критерій Стьюдента. Різницю між показниками вважали статистично значущою за рівня $p<0,05$. Додатково розраховували 95 % довірчий

інтервал (95 % ДІ), який використовували для оцінки точності отриманих середніх значень.

Дослідження проведено відповідно до принципів біоетики та гуманного поводження з тваринами; усі процедури виконували за згодою власників тварин.
Результати досліджень та їх обговорення

На початку дослідження тварини обох груп були клінічно здоровими та характеризувалися оптимальним нутритивним статусом. Середня маса тіла котів I групи становила 4,3±0,4 кг, II групи — 4,2±0,3 кг. Індекс кондиції тіла (Body Condition Score, BCS) у всіх тварин відповідав 5 балам за 9-бальною шкалою, що свідчило про оптимальну вгодованість. Відсутність виражених відмінностей між групами на початку досліду дозволила оцінити подальшу динаміку показників залежно від використаного раціону.

Через 90 діб застосування досліджуваних кормів встановлено різну динаміку маси тіла стерилізованих котів (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка маси тіла стерилізованих котів за використання різних комерційних раціонів (M±SD; 95 % ДІ; n=5)

Показник	I група Purina Friskies	95 % ДІ	II група Club 4 Paws	95 % ДІ
До дослідження, кг	4,3±0,4	3,80–4,80	4,2±0,3	3,83–4,57
Через 90 діб, кг	5,1±0,5	4,48–5,72	4,4±0,3	4,03–4,77
Приріст маси тіла, кг	+0,8	—	+0,2	—
Приріст маси тіла, %	+18,6	—	+4,8	—

У котів I групи після 90 діб спостереження встановлено збільшення середньої маси тіла з 4,3±0,4 до 5,1±0,5 кг, що відповідало приросту 18,6 % від початкового рівня.

Зміщення діапазону 95 % довірчого інтервалу у бік більших значень (4,48–5,72 кг) відображало загальну тенденцію до збільшення маси тіла у тварин цієї групи. У котів II групи зміни маси тіла були менш вираженими: середній показник збільшився з 4,2±0,3 до 4,4±0,3 кг, що становило 4,8 %. Значення 95 % ДІ залишалися у близьких межах протягом усього періоду дослідження, що свідчило про стабільність маси тіла тварин.

Оцінка індексу кондиції тіла підтвердила отримані результати щодо динаміки маси тіла. Через 90 діб у I групі у 4 із 5 котів (80 %) показник BCS підвищився до 7–8 балів, що відповідало надлишковій масі тіла; у одного кота (20 %) показник становив 6 балів. У II групі у більшості тварин (4 із 5; 80 %) BCS залишався на рівні 5 балів, тоді як у одного кота (20 %) відмічали його збільшення до 6 балів.

Більш виражене збільшення маси тіла у котів I групи, ймовірно, було пов’язане з особливостями складу та енергетичного профілю використаного раціону. Згідно із заявленим виробником складом, корм масового сегмента

характеризувався переважанням зернових компонентів серед основних інгредієнтів, що могло впливати на співвідношення джерел енергії та особливості формування енергетичного балансу у тварин.

У стерилізованих котів, які мають знижені енергетичні потреби, навіть помірний надлишок доступної енергії за тривалого споживання корму може сприяти поступовому формуванню позитивного енергетичного балансу та збільшенню жирової маси.

Менш виражена зміна маси тіла у тварин II групи могла бути обумовлена особливостями рецептури раціону, зокрема вищою часткою ідентифікованих джерел тваринного білка, наявністю функціональних компонентів та адаптацією складу корму до потреб стерилізованих котів. Достатній рівень білка у раціоні сприяє підтриманню м'язової маси та може позитивно впливати на контроль маси тіла за рахунок регуляції насичення й енергетичного обміну [4, 9, 13].
Виявлені відмінності між групами можуть бути пов'язані не лише з кількісним вмістом основних нутрієнтів, але й з якісними особливостями складу раціонів, зокрема джерелами білка, співвідношенням макронутрієнтів та наявністю функціональних компонентів, що впливають на підтримання оптимального нутритивного статусу стерилізованих котів.

Отримані результати узгоджуються з даними Alexander et al. [1] та Larsen [15], які встановили, що після стерилізації у котів відбуваються зміни енергетичного обміну та харчової поведінки, що підвищує ризик збільшення маси тіла за невідповідності енергетичної цінності раціону фактичним потребам організму. За даними Vendramini et al. [18], контроль маси тіла у стерилізованих котів залежить не лише від кількості спожитого корму, але й від його складу, співвідношення макронутрієнтів та адаптації раціону до зміненого метаболічного статусу тварини. Подібні результати наведені Goloni et al. [11], які підкреслюють роль нутритивного складу корму у підтриманні оптимальної кондиції тіла стерилізованих котів.

Крім змін маси тіла та індексу кондиції, оцінювали клінічні показники, які характеризують загальний стан та добробут стерилізованих котів (табл. 2).

Після 90 діб застосування досліджуваних раціонів у котів I групи поряд зі збільшенням маси тіла та індексу кондиції відмічали зміни окремих клінічних показників добробуту. Зокрема, зниження блиску шерстного покриву встановлено у 3 тварин (60 %), а появу незначної кількості лупи — у 2 котів (40 %). Крім того, у 3 тварин цієї групи (60 %) спостерігали зниження рівня ігрової активності порівняно з початковим періодом дослідження.

У котів II групи протягом усього періоду спостереження шерстний покрив залишався блискучим і густим, шкіра — еластичною, а видимі слизові оболонки були рожевими, помірно вологими та блискучими. Рівень активності та поведінкові реакції тварин суттєво не змінювалися.

Таблиця 2

Клінічні показники добробуту стерилізованих котів через 90 діб використання різних комерційних раціонів

Показник	**І група** *Purina Friskies Sterilized Cats*	**ІІ група Club 4** *Paws Sterilised*
Блискучий, густий шерстний покрив	2/5 (40 %)	5/5 (100 %)
Зниження блиску шерсті	3/5 (60 %)	0/5 (0 %)
Наявність лупи	2/5 (40 %)	0/5 (0 %)
Шкіра еластична, без ознак сухості	3/5 (60 %)	5/5 (100 %)
Слизові оболонки рожеві, вологі, блискучі	5/5 (100 %)	5/5 (100 %)
Збереження звичного рівня активності	2/5 (40 %)	5/5 (100 %)
Зниження ігрової активності	3/5 (60 %)	0/5 (0 %)

Виявлені відмінності можуть бути пов’язані як зі зміною маси тіла та кондиції тварин, так і з особливостями надходження основних поживних речовин із раціоном. Стан шкіри та шерстного покриву у котів значною мірою визначається забезпеченням організму повноцінним білком, незамінними жирними кислотами, мікроелементами та іншими нутрієнтами, які беруть участь у процесах регенерації тканин і підтриманні бар’єрної функції шкіри [8, 13].

Згідно з рекомендаціями FEDIAF [9], повнораціонні корми для котів повинні забезпечувати не лише потребу організму в енергії, але й достатнє надходження незамінних амінокислот, жирних кислот, вітамінів і мінеральних речовин, необхідних для підтримання нормального метаболізму та фізіологічного стану шкіри й шерстного покриву.

Зниження ігрової активності у частини котів І групи, ймовірно, було пов’язане зі збільшенням маси тіла та переходом до вищого показника BCS. Подібні закономірності описані German [10] та Vendramini et al. [18], які вказують, що надлишкова маса тіла у котів може супроводжуватися зменшенням рухової активності та погіршенням окремих показників якості життя.

Для більш повної оцінки впливу досліджуваних раціонів на організм стерилізованих котів проводили аналіз біохімічних показників сироватки крові, що характеризують основні види обміну речовин та функціональний стан внутрішніх органів (табл. 3).

Аналіз біохімічних показників сироватки крові через 90 діб використання досліджуваних раціонів показав, що у тварин обох груп показники білкового, вуглеводного та ліпідного обміну, а також функціонального стану печінки й нирок переважно залишалися в межах фізіологічних значень.

Таблиця 3

Біохімічні показники сироватки крові стерилізованих котів через 90 діб використання різних комерційних раціонів (M±SD; 95 % ДІ)

Показник	Фізіологічні межі*	I група Purina Friskies	95 % ДІ	II група Club 4 Paws	95 % ДІ
Загальний білок, г/л	57–89	67,4±3,8	62,7–72,1	70,8±3,2	66,8–74,8
Альбумін, г/л	22–40	31,6±2,4	28,6–34,6	34,8±2,1	32,2–37,4
АЛТ, Од/л	20–100	54,2±8,5	43,6–64,8	42,6±6,8	34,2–51,0
Сечовина, ммоль/л	5,0–11,3	7,2±1,1	5,8–8,6	6,8±0,9	5,7–7,9
Креатинін, мкмоль/л	70–165	118,5±14,2	100,9-136	112,4±12,6	96,8–128,0
Глюкоза, ммоль/л	3,3–6,7	5,6±0,5	5,0–6,2	5,2±0,4	4,7–5,7
Холестерол, ммоль/л	1,8–6,5	5,4±0,6	4,7–6,1	4,3±0,5	3,7–4,9
Триацилгліцероли, ммоль/л	0,2–1,3	1,25±0,18	1,03–1,47	0,92±0,15	0,73–1,11

**Примітка:* фізіологічні межі наведено відповідно до референтних значень біохімічних показників крові дорослих клінічно здорових котів.

Це свідчило про відсутність негативного впливу застосованих кормів на метаболічний стан клінічно здорових стерилізованих котів протягом періоду спостереження. Водночас між групами встановлено певні відмінності у спрямованості змін окремих біохімічних показників. У котів II групи спостерігали тенденцію до вищих значень показників білкового обміну: концентрація загального білка становила 70,8±3,2 г/л (95 % ДІ: 66,8–74,8), альбуміну — 34,8±2,1 г/л (95 % ДІ: 32,2–37,4). У тварин I групи ці показники були дещо нижчими: загальний білок становив 67,4±3,8 г/л (95 % ДІ: 62,7–72,1), альбумін — 31,6±2,4 г/л (95 % ДІ: 28,6–34,6). Часткове перекриття довірчих інтервалів свідчило про відсутність виражених відмінностей між групами за показниками білкового обміну, однак зміщення середніх значень у бік вищого рівня загального білка та альбуміну у котів II групи може вказувати на тенденцію до кращого забезпечення організму поживними речовинами білкової природи.

Враховуючи, що коти є облігатними хижаками, не лише кількість протеїну у раціоні, але й джерело його походження та біологічна доступність мають важливе значення для підтримання м’язової маси, оновлення тканин і метаболічного статусу організму [4, 9]. За даними виробників, досліджувані раціони мали близький рівень сирого протеїну, проте відрізнялися складом білкових компонентів та наявністю функціональних добавок.

Показники, які характеризують функціональний стан печінки та нирок, у котів обох груп залишалися у фізіологічних межах. Активність АЛТ у тварин I групи становила 54,2±8,5 Од/л (95 % ДІ: 43,6–64,8), тоді як у котів II групи — 42,6±6,8 Од/л (95 % ДІ: 34,2–51,0). Перекриття довірчих інтервалів не дозволяло розглядати ці зміни як суттєві, однак дещо вищі середні значення активності ферменту у котів I групи могли бути пов'язані з більш вираженим збільшенням маси тіла та особливостями метаболічної адаптації організму.

Найбільш помітні відмінності між групами встановлено за показниками ліпідного обміну. У котів I групи концентрація загального холестеролу становила 5,4±0,6 ммоль/л (95 % ДІ: 4,7–6,1), а триацилгліцеролів — 1,25±0,18 ммоль/л (95 % ДІ: 1,03–1,47). У тварин II групи ці показники були нижчими: холестерол — 4,3±0,5 ммоль/л (95 % ДІ: 3,7–4,9), триацилгліцероли — 0,92±0,15 ммоль/л (95 % ДІ: 0,73–1,11).

Менший ступінь перекриття довірчих інтервалів за показниками ліпідного профілю порівняно з білковим обміном підтверджував більш виражену спрямованість змін саме у метаболізмі ліпідів. Підвищення концентрації холестеролу та триацилгліцеролів у котів I групи узгоджувалося зі збільшенням маси тіла (+18,6 %) та переходом більшості тварин до вищого показника BCS. Ймовірно, такі зміни були пов'язані з формуванням більш вираженого позитивного енергетичного балансу. У стерилізованих котів після гонадектомії знижуються енергетичні потреби, тому підтримання оптимальної кондиції залежить не лише від кількості спожитого корму, але й від співвідношення білків, жирів, вуглеводів, енергетичної щільності та складу раціону [15, 18].

Відсутність значного приросту маси тіла у котів II групи, незважаючи на достатній рівень жиру в раціоні, може бути пов'язана з більш збалансованим співвідношенням поживних речовин, вмістом білкових компонентів та функціональних добавок, спрямованих на підтримання нутритивного статусу стерилізованих тварин.

Отримані результати узгоджуються з даними German [10] та Vendramini et al. [18], які вказують, що надлишкова маса тіла у котів супроводжується змінами метаболічного профілю, зокрема показників ліпідного обміну, а ефективний контроль кондиції потребує адаптації раціону відповідно до фізіологічних потреб стерилізованих тварин.

Отже, застосування комерційних раціонів різних сегментів у стерилізованих котів супроводжувалося відмінностями у динаміці маси тіла, індексі кондиції, клінічних показниках добробуту та окремих параметрах метаболічного профілю. Отримані результати підтверджують доцільність комплексної оцінки нутритивного статусу з урахуванням клінічних і лабораторних показників організму тварин.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Використання комерційних раціонів різних сегментів протягом 90 діб супроводжувалося відмінностями у динаміці маси тіла, індексу кондиції та окремих показниках метаболічного статусу стерилізованих котів. У тварин I групи приріст маси тіла

становив 18,6 % із підвищенням BCS до 7–8 балів у 80 % котів, тоді як у II групі приріст маси тіла становив лише 4,8 % зі збереженням оптимального BCS (5 балів) у 80 % тварин. Клінічні показники добробуту також відрізнялися залежно від використаного раціону. У котів II групи нормальний стан шерстного покриву, шкіри та рівень активності зберігалися у 100 % випадків, тоді як у тварин I групи встановлено зниження блиску шерсті (60 %), появу лупи (40 %) та зменшення ігрової активності (60 %). Біохімічні показники, що характеризують білковий і вуглеводний обмін, а також функціональний стан печінки й нирок, у котів обох груп залишалися у фізіологічних референтних межах. Водночас у тварин I групи встановлено вищі значення показників ліпідного обміну порівняно з II групою: холестеролу — 5,4±0,6 проти 4,3±0,5 ммоль/л та триацилгліцеролів — 1,25±0,18 проти 0,92±0,15 ммоль/л відповідно.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на вивчення впливу складу комерційних раціонів на композицію тіла, показники ліпідного обміну та метаболічний статус стерилізованих котів за більш тривалого періоду спостереження.

Відомості про конфлікт інтересів. Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Alexander L. G., Salt C., Thomas G., Butterwick R. Effects of neutering on food intake, body weight and body composition in growing female kittens. *British Journal of Nutrition*. 2011. Vol. 106, Suppl. 1. P. S19–S23. DOI: 10.1017/S000711451100184X.
2. Allaway D., Gilham M. S., Colyer A., Morris P. J. The impact of time of neutering on weight gain and energy intake in female kittens. *Journal of Nutritional Science*. 2017. Vol. 6. Article e19. DOI: 10.1017/jns.2017.20.
3. Bilgiç B., Tarhan D., Ateş F. et al. Investigation of trace and macro element contents in prescription and non-prescription dry cat foods. *Veterinary Medicine and Science*. 2025. Vol. 11. Article e70123. DOI: 10.1002/vms3.70123.
4. Bosch G., Hagen-Plantinga E. A., Hendriks W. H. Dietary nutrient profiles of wild cats: possible implications for nutrition of domestic cats. *British Journal of Nutrition*. 2015. Vol. 113, Suppl. 1. P. S40–S54.
5. Cave N. J., Allan F. J., Schokkenbroek S. L., Metekohy C. A. M., Pfeiffer D. U. A cross-sectional study to compare changes in the prevalence and risk factors for feline obesity between 1993 and 2007 in New Zealand. *Preventive Veterinary Medicine*. 2012. Vol. 107, № 1–2. P. 121–133. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2012.05.006.
6. Cho H. W., Lee M. Y., Lee W. D., Lee S. Y., Kim K. H., So K. M. Nutritional evaluation of commercial dog and cat foods based on key nutrient requirements. *Animals*. 2026. Vol. 16, № 6. Article 909. DOI: 10.3390/ani16060909.
7. Colliard L., Paragon B. M., Lemuet B., Bénet J. J., Blanchard G. Prevalence and risk factors of obesity in an urban population of healthy cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2009. Vol. 11, № 2. P. 135–140. DOI: 10.1016/j.jfms.2008.07.002.
8. Dodd S. A. S., Shoveller A. K., Fascetti A. J., Yu Z. Z., Ma D. W. L., Verbrugghe A. A comparison of key essential nutrients in commercial plant-based pet foods sold in Canada to

American and European canine and feline dietary recommendations. *Animals*. 2021. Vol. 11, № 8. Article 2348. DOI: 10.3390/ani11082348.
9. FEDIAF. *Nutritional Guidelines for Complete and Complementary Pet Food for Cats and Dogs*. Brussels: European Pet Food Industry Federation, 2025.
10. German A. J. The growing problem of obesity in dogs and cats. *The Journal of Nutrition*. 2006. Vol. 136, № 7 (Suppl.). P. 1940S–1946S. DOI: 10.1093/jn/136.7.1940S.
11. Goloni C., Peres F. M., Vendramini T. H. A. et al. High starch intake favours body weight control in neutered and spayed cats living in homes fed ad libitum. *British Journal of Nutrition*. 2024. Vol. 131, № 10. P. 1786–1798.
12. Hoelmkjaer K. M., Bjørnvad C. R. Management of obesity in cats. *Veterinary Medicine: Research and Reports*. 2014. Vol. 5. P. 97–107.
13. Kępińska-Pacelik J., Biel W., Biernacka P., Tokarczyk G., Bienkiewicz G. Assessment of macronutrients and fat quality in cat food. *Veterinary Research Communications*. 2025. Vol. 49. Article 171. DOI: 10.1007/s11259-025-10741-9.
14. Laflamme D. P. Development and validation of a body condition score system for cats: a clinical tool. *Feline Practice*. 1997. Vol. 25. P. 13–18.
15. Larsen J. A. Risk of obesity in the neutered cat. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2017. Vol. 19, № 8. P. 779–783. DOI: 10.1177/1098612X16660605.
16. Salaun F., Blanchard G., Le Paih L., Roberti F., Niceron C. Impact of macronutrient composition and palatability in wet diets on food selection in cats. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2017. Vol. 101. P. 320–328. DOI: 10.1111/jpn.12542.
17. Teng K. T., McGreevy P. D., Toribio J. A. L. M. L., Raubenheimer D., Kendall K., Dhand N. K. Strong associations of 9-point body condition scoring with survival and lifespan in cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2018. Vol. 20, № 12. P. 1110–1118.
18. Vendramini T. H. A., Amaral A. R., Pedrinelli V., Zafalon R. V. A., Rodrigues R. B. A., Brunetto M. A. Neutering in dogs and cats: current scientific evidence and importance of adequate nutritional management. *Nutrition Research Reviews*. 2020. Vol. 33, № 1. P. 134–144. DOI: 10.1017/S0954422419000271.
19. Villaverde C., Chandler M. Commercial vs Homemade Cat Diets: What you need to know. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2022. Vol. 24, № 5. P. 415–428. DOI: 10.1177/1098612X221090389.
20. WSAVA Global Nutrition Committee. *Global Nutrition Guidelines*. World Small Animal Veterinary Association, 2020.

Olena Matsenko,
Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Internal Diseases and Clinical Diagnostics of Animals,
State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-1782-4650
e-mail: elenam57722@gmail.com

Liudmyla Kushch,
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Hygiene, Sanitation and Veterinary Law, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-6076-5545
e-mail: kushch.luidmila@gmail.com

Yurii Shchepetilnikov,
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Internal Diseases and Clinical Diagnostics of Animals,

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-7275-0079
e-mail: yurij3057661@gmail.com

Yuliia Sobakar,
Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Internal Diseases and Clinical Diagnostics of Animals,
State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-4236-7236
e-mail: Zemlanoy1980@gmail.com

Diana Makhotina,
Candidate of Veterinary Sciences, Assistant of the Department of Internal Diseases and Clinical Diagnostics of Animals,
State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-4169-5625
e-mail: makhotina.diana@gmail.com

EFFECT OF COMMERCIAL DIETS ON THE NUTRITIONAL AND METABOLIC STATUS OF NEUTERED CATS

Abstract

Rational feeding of neutered cats is an important factor in maintaining optimal body condition, metabolic health and overall animal welfare. After gonadectomy, cats may develop changes in energy metabolism, appetite regulation and physical activity, which increase the risk of body weight gain when the diet does not correspond to altered physiological requirements. The aim of the study was to evaluate the effect of commercial diets from different market segments on the nutritional and metabolic status of neutered domestic cats.

The study was conducted on 10 clinically healthy neutered cats aged 2–6 years. The animals were divided into two groups of five cats each according to the diet used. Cats in group I received Purina Friskies Sterilized Cats dry food, whereas cats in group II were fed Club 4 Paws Sterilised dry food. The observation period lasted 90 days.

Body weight, body condition score (BCS), clinical welfare indicators, including coat condition, skin, visible mucous membranes and activity level, as well as serum biochemical parameters were assessed. After 90 days, cats in group I showed an increase in mean body weight from 4.3±0.4 to 5.1±0.5 kg, corresponding to an 18.6% gain. In 80% of animals in this group, BCS increased to 7–8 points. In group II, body weight gain was less pronounced, increasing from 4.2±0.3 to 4.4±0.3 kg (+4.8%), while 80% of cats maintained an optimal BCS of 5 points. Cats fed Club 4 Paws Sterilised maintained more stable clinical welfare indicators throughout the study, including a shiny coat, elastic skin and unchanged activity level. In group I, decreased coat shine (60%), mild dandruff (40%) and reduced play activity (60%) were observed more frequently. Serum biochemical parameters in both groups remained within physiological ranges. However, cats in group I showed a tendency toward higher lipid metabolism parameters, including cholesterol (5.4±0.6 mmol/L) and triacylglycerols (1.25±0.18 mmol/L), compared with group II (4.3±0.5 and 0.92±0.15 mmol/L, respectively). These changes were consistent with greater body weight gain and increased BCS. The results indicate that evaluation of diets for neutered cats should be based on a comprehensive approach including not only body weight control, but also BCS, clinical welfare indicators and metabolic profile assessment. The practical value of the obtained results lies in the possibility of using a comprehensive assessment of nutritional status for selecting an optimal diet for neutered cats in veterinary practice.

Key words: *cats, commercial diets, nutritional status, body condition score, metabolic profile, blood biochemical parameters, animal welfare.*

References

1. Alexander, L. G., Salt, C., Thomas, G., & Butterwick, R. (2011). Effects of neutering on food intake, body weight and body composition in growing female kittens. *British Journal of Nutrition, 106*(Suppl. 1), S19–S23. https://doi.org/10.1017/S000711451100184X
2. Allaway, D., Gilham, M. S., Colyer, A., & Morris, P. J. (2017). The impact of time of neutering on weight gain and energy intake in female kittens. *Journal of Nutritional Science, 6*, e19. https://doi.org/10.1017/jns.2017.20
3. Bilgiç, B., Tarhan, D., Ateş, F., et al. (2025). Investigation of trace and macro element contents in prescription and non-prescription dry cat foods. *Veterinary Medicine and Science, 11*, e70123. https://doi.org/10.1002/vms3.70123
4. Bosch, G., Hagen-Plantinga, E. A., & Hendriks, W. H. (2015). Dietary nutrient profiles of wild cats: Possible implications for nutrition of domestic cats. *British Journal of Nutrition, 113*(Suppl. 1), S40–S54.
5. Cave, N. J., Allan, F. J., Schokkenbroek, S. L., Metekohy, C. A. M., & Pfeiffer, D. U. (2012). A cross-sectional study to compare changes in the prevalence and risk factors for feline obesity between 1993 and 2007 in New Zealand. *Preventive Veterinary Medicine, 107*(1–2), 121–133. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.05.006
6. Cho, H. W., Lee, M. Y., Lee, W. D., Lee, S. Y., Kim, K. H., & So, K. M. (2026). Nutritional evaluation of commercial dog and cat foods based on key nutrient requirements. *Animals, 16*(6), 909. https://doi.org/10.3390/ani16060909
7. Colliard, L., Paragon, B. M., Lemuet, B., Bénet, J. J., & Blanchard, G. (2009). Prevalence and risk factors of obesity in an urban population of healthy cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery, 11*(2), 135–140. https://doi.org/10.1016/j.jfms.2008.07.002
8. Dodd, S. A. S., Shoveller, A. K., Fascetti, A. J., Yu, Z. Z., Ma, D. W. L., & Verbrugghe, A. (2021). A comparison of key essential nutrients in commercial plant-based pet foods sold in Canada to American and European canine and feline dietary recommendations. *Animals, 11*(8), 2348. https://doi.org/10.3390/ani11082348
9. FEDIAF. (2025). *Nutritional guidelines for complete and complementary pet food for cats and dogs*. European Pet Food Industry Federation.
10. German, A. J. (2006). The growing problem of obesity in dogs and cats. *The Journal of Nutrition, 136*(7 Suppl.), 1940S–1946S. https://doi.org/10.1093/jn/136.7.1940S
11. Goloni, C., Peres, F. M., Vendramini, T. H. A., et al. (2024). High starch intake favours body weight control in neutered and spayed cats living in homes fed ad libitum. *British Journal of Nutrition, 131*(10), 1786–1798.
12. Hoelmkjaer, K. M., & Bjørnvad, C. R. (2014). Management of obesity in cats. *Veterinary Medicine: Research and Reports, 5*, 97–107.
13. Kępińska-Pacelik, J., Biel, W., Biernacka, P., Tokarczyk, G., & Bienkiewicz, G. (2025). Assessment of macronutrients and fat quality in cat food. *Veterinary Research Communications, 49*, 171. https://doi.org/10.1007/s11259-025-10741-9
14. Laflamme, D. P. (1997). Development and validation of a body condition score system for cats: A clinical tool. *Feline Practice, 25*, 13–18.
15. Larsen, J. A. (2017). Risk of obesity in the neutered cat. *Journal of Feline Medicine and Surgery, 19*(8), 779–783. https://doi.org/10.1177/1098612X16660605
16. Salaun, F., Blanchard, G., Le Paih, L., Roberti, F., & Niceron, C. (2017). Impact of macronutrient composition and palatability in wet diets on food selection in cats. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 101*, 320–328. https://doi.org/10.1111/jpn.12542

17. Teng, K. T., McGreevy, P. D., Toribio, J. A. L. M. L., Raubenheimer, D., Kendall, K., & Dhand, N. K. (2018). Strong associations of 9-point body condition scoring with survival and lifespan in cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery, 20*(12), 1110–1118.
18. Vendramini, T. H. A., Amaral, A. R., Pedrinelli, V., Zafalon, R. V. A., Rodrigues, R. B. A., & Brunetto, M. A. (2020). Neutering in dogs and cats: Current scientific evidence and importance of adequate nutritional management. *Nutrition Research Reviews, 33*(1), 134–144. https://doi.org/10.1017/S0954422419000271
19. Villaverde, C., & Chandler, M. (2022). Commercial vs homemade cat diets: What you need to know. *Journal of Feline Medicine and Surgery, 24*(5), 415–428. https://doi.org/10.1177/1098612X221090389
20. WSAVA Global Nutrition Committee. (2020). *Global nutrition guidelines*. World Small Animal Veterinary Association.

Стаття надійшла до редакції 22.07.2026
Стаття пройшла рецензування 21.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

УДК 636.92:636.082.4
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.10

Людмила ОНИЩЕНКО
кандидатка сільськогосподарських наук
доцентка кафедри технологія виробництва продукції тваринництва
Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна
ORCID 0000-0003-2666-9813
e-mail: onishenkoluda158@gmail.com

М'ЯСНА ПРОДУКТИВНІСТЬ МОЛОДНЯКУ КРОЛІВ НА ВІДГОДІВЛІ

Анотація.

У статті наведено результати дослідження продуктивних і м'ясних якостей молодняку кролів порід полтавське срібло та каліфорнійська за чистопородного розведення і промислового схрещування. Проведено оцінку основних селекційно-господарських показників, зокрема живої маси, абсолютного, середньодобового та відносного приростів, забійної маси, забійного виходу і коефіцієнта м'ясності. Встановлено, що найбільш інтенсивний ріст молодняку всіх дослідних груп спостерігався у період від 60- до 75-добового віку. Найвищий абсолютний приріст зафіксовано у помісного молодняку ІІІ дослідної групи, який становив 895 г у зазначений період. Максимальні значення середньодобових приростів також відмічено у 75-добовому віці. Найкращими показниками характеризувалися помісні кролі ІІІ групи та чистопородний молодняк каліфорнійської породи, середньодобовий приріст яких перевищував 57 г.

Ключові слова: *кролі, м'ясна продуктивність, жива маса, середньодобовий приріст, забійний вихід, коефіцієнт м'ясності, схрещування.*

Постановка проблеми. Кролівництво є однією з перспективних галузей тваринництва, що забезпечує виробництво високоякісного дієтичного м'яса, а також цінної хутрової сировини та пуху. Завдяки високій скороспілості, плодючості та ефективному використанню кормів кролі здатні забезпечувати значні обсяги продукції у короткі строки. Кролятина характеризується високою поживною цінністю, доброю засвоюваністю та дієтичними властивостями, що зумовлює зростання попиту на неї серед споживачів [2].

Сучасний розвиток кролівництва в Україні спрямований на вдосконалення генетичного потенціалу поголів'я шляхом використання високопродуктивних м'ясних порід, створення помісних генотипів та удосконалення селекційної роботи. Особлива увага приділяється породам каліфорнійська, новозеландська біла та полтавське срібло, які відзначаються високою інтенсивністю росту, скороспілістю та добрими м'ясними якостями. Цілеспрямована селекційна робота дозволяє отримувати молодняк із підвищеною продуктивністю та високими господарсько корисними ознаками [6].

Поряд із генетичним удосконаленням важливого значення набуває впровадження сучасних технологій утримання й годівлі. У виробництві широко застосовують багатоярусні кліткові системи, автоматизовані засоби напування та годівлі, контроль параметрів мікроклімату, а також повнораціонні гранульовані

комбікорми. Такі технологічні рішення сприяють підвищенню збереженості молодняку, скороченню виробничого циклу та зменшенню витрат праці [8, 11].

Ефективність вирощування кролів значною мірою залежить від повноцінної годівлі. Використання збалансованих комбікормів із достатнім вмістом протеїну, мінеральних речовин, вітамінів та біологічно активних компонентів забезпечує інтенсивний ріст молодняку, зменшує витрати кормів на одиницю приросту та покращує якість отриманої продукції [17].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Результати сучасних наукових досліджень свідчать, що підвищення м'ясної продуктивності кролів можливе завдяки оптимізації годівлі та використанню сучасних кормових добавок, зокрема пробіотичних і ферментних препаратів. Разом із тим питання їх ефективності за різних технологічних умов залишаються недостатньо вивченими, що зумовлює актуальність подальших досліджень [1].

Найвищими показниками продуктивності характеризуються спеціалізовані м'ясні породи – каліфорнійська, новозеландська біла та полтавське срібло. Молодняк цих порід відзначається високою інтенсивністю росту і вже у двомісячному віці здатний досягати живої маси близько 2 кг, а у тримісячному – майже 3 кг за витрат корму 3–5 кормових одиниць на 1 кг приросту. Забійний вихід при цьому становить близько 60 %. Серед м'ясо-шкуркових порід найбільшою скороспілістю характеризуються віденський блакитний та радянська шиншила, тоді як у порід чорно-бурий та сірий велетень інтенсивний ріст триває до 165-добового віку, а забійний вихід досягає близько 55 % [17, 18].

У працях Г. А. Коцюбенко встановлено, що молодняк, отриманий від осінніх та зимових окролів, характеризується вищими показниками продуктивності, а самки — кращими відтворювальними якостями за умов зовнішньокліткового утримання [3, 6, 20].

За даними Е. А. Вагіна, використання соковитих кормів позитивно впливає на молочну продуктивність кролиць [2].

А. Х. Яппаров [5] довів, що рівень молочності самок визначається переважно спадковими особливостями (60,4 %) та якістю годівлі (39,6 %). F. Levas встановив, що зі збільшенням чисельності приплоду від 5 до 11 кроленят добове споживання корму самками зростає на 14,3 г на кожне додаткове кроленя, тоді як кількість молока, що припадає на одну голову, зменшується з 30,2 до 20,4 г на добу [4].

Питання впливу рівня годівлі на продуктивність кролиць також висвітлено у працях Т. Л. Сивик, О. М. Косяненко, О. П. Шулько, М. М. Сломчинського, В. Є. Попова, Д. П. Уманця та І. І. Ібатуліна [1, 3, 5, 6, 16].

Результати досліджень Г. А. Коцюбенко свідчать, що найкращі відтворювальні показники були отримані при паруванні самок породи білий велетень із самцями новозеландської білої породи. Використання самців бельгійського велетня супроводжувалося певним зниженням багатоплідності та збереженості молодняку, однак забезпечувало збільшення маси окремих кроленят і їх великоплідності на 45-ту добу життя [3, 11, 20].

За масою гнізда при відлученні найкращі результати одержано у разі використання самців новозеландської білої породи, перевага яких над чистопородними тваринами становила близько 1,1 кг. При використанні бельгійського велетня загальна маса гнізда практично не змінювалася, однак жива маса окремих кроленят була достовірно вищою порівняно з чистопородними аналогами – на 108,4 г [7, 9, 18].

Постановка завдання. Метою дослідження було визначення м'ясної продуктивності молодняку кролів різних генотипів – полтавське срібло та каліфорнійська – за чистопородного розведення і промислового схрещування.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішення таких завдань:

- проаналізувати виробничу діяльність господарства;
- дослідити особливості технології вирощування молодняку кролів;
- оцінити динаміку росту кролів різних генотипів;
- визначити відгодівельні та забійні показники;
- вивчити технологію переробки продукції кролівництва;
- провести економічну оцінку ефективності удосконаленої технології;
- сформулювати науково обґрунтовані висновки та практичні рекомендації.

Матеріали і методика. Науково-господарський дослід проводили з метою оцінки ефективності схрещування кролів каліфорнійської породи та породи полтавське срібло за показниками інтенсивності росту, витрат кормів, забійних якостей і м'ясної продуктивності.

Дослідження виконували в умовах СВК агрофірми «Миг-Сервіс-Агро» Миколаївського району Миколаївської області. У господарстві використовували чистопородний молодняк каліфорнійської породи (CA), породи полтавське срібло (PS), а також помісних тварин, отриманих від схрещування самок породи полтавське срібло із самцями каліфорнійської породи.

Для проведення досліду було сформовано три групи тварин по 20 самок у кожній:

I група (контрольна) – чистопородні кролі породи полтавське срібло;

II група (дослідна) – чистопородні кролі каліфорнійської породи;

III група (дослідна) – помісний молодняк, отриманий від схрещування самок породи полтавське срібло із самцями каліфорнійської породи.

Тварин усіх груп утримували в однакових технологічних умовах відповідно до чинних зоотехнічних вимог.

Живу масу молодняку визначали при народженні, у 21-, 28- та 35-добовому віці – гніздовим методом, а починаючи з 42-добового віку (42, 49, 56, 63 та 90 діб) – індивідуальним зважуванням із точністю до 0,01 кг [6, 16].

Упродовж досліду оцінювали показники росту й розвитку молодняку, зокрема живу масу, абсолютний, середньодобовий і відносний прирости, а також витрати кормів.

Для визначення м'ясної продуктивності у 90-добовому віці проводили контрольний забій після 12-годинної голодної витримки. Визначали забійну масу туші та забійний вихід. Забійною масою вважали масу туші без шкурки, голови, кінцівок нижче зап'ясткового і скакального суглобів та внутрішніх органів, за винятком нирок. Забійний вихід обчислювали як відношення забійної маси до передзабійної живої маси, виражене у відсотках [15, 19].

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали із застосуванням програмного забезпечення Microsoft Excel 2016. Достовірність різниці між середніми величинами оцінювали за критерієм Стьюдента. Рівень статистичної значущості приймали: *P≤0,05;** P≤0,01; ***P≤0,001 [12].

Виклад основного матеріалу дослідження. Дані, наведені в таблиці 1, свідчать про суттєві відмінності у показниках росту молодняку кролів різних генотипів упродовж періоду вирощування. Найвищі показники живої маси на всіх етапах дослідження встановлено у помісного молодняку, отриманого від схрещування порід полтавське срібло × каліфорнійська, що свідчить про позитивний прояв ефекту гетерозису.

У 30-добовому віці жива маса кролів породи полтавське срібло становила 0,755 кг, каліфорнійської породи – 0,867 кг, тоді як у помісних тварин вона досягала 0,985 кг, що відповідно на 30,5 % та 13,6 % більше порівняно з чистопородними аналогами.

Таблиця 1

Динаміка росту молодняку кролів, (n=20)

Віковий період, діб	Жива маса кролів, кг	Абсолютний приріст , г	Середньодобовий приріст , г	Відносний приріст, %
полтавське срібло				
30	0,755±0,02	–	–	–
45	1,021±0,05	266,0±0,05	17,8±0,8	26,0±0,12
60	1,393±0,13	372,3±28	34,7±5,1	28,0±2,1
75	2,258±0,12	865,0±10	57,6±0,6	39,0±1,4
90	2,629±0,05	371,2±25	24,7±3,3	14,1±1,7
каліфорнійська				
30	0,867±0,02	–	–	–
45	1,249±0,05	382,0±0,7	24,5±0,8	30,5±2,12
60	1,612±0,13	363,0±0,9	23,0±5,1	22,5±1,85
75	2,500±0,12	888,0±10	57,7±0,6	33,8±1,73
90	2,867±0,05	367,1±25	26,6±3,3	12,8±2,25
полтавське срібло × каліфорнійська				
30	985±0,02	–	–	–
45	1,310±0,05	410,0±0, 5	27,3±0,8	31,3±0,12
60	1,760±0,13	450,0±28	30,0±5,1	25,6±5,1
75	2,655±0,12	895,0±10	59,2±0,6	35,5±5,1
90	3,054±0,05	399,0±25	28,4±3,3	13,0±5,1

У подальшому перевага помісного молодняку зберігалася. Так, у 45-добовому віці їх жива маса становила 1,310 кг, що перевищувало показники полтавського срібла на 0,289 кг (28,3 %) та каліфорнійської породи – на 0,061 кг (4,9 %). У 60-добовому віці ця перевага становила відповідно 26,3 % та 9,2 %.

Найбільш інтенсивний ріст у всіх дослідних групах відзначено в період від 60 до 75-добового віку, коли були отримані максимальні значення абсолютного та середньодобового приростів. У молодняку породи полтавське срібло абсолютний приріст за цей період становив 865 г, у каліфорнійської породи – 888 г, а у помісних кролів – 895 г. Відповідно середньодобові прирости дорівнювали 57,6; 57,7 та 59,2 г, що характеризує цей віковий період як фазу найінтенсивнішого росту.

Після 75-добового віку темпи росту поступово знижувалися, що є закономірним для завершального етапу відгодівлі. Так, у період від 75 до 90 діб абсолютний приріст становив 371,2 г у полтавського срібла, 367,1 г – у каліфорнійської породи та 399,0 г – у помісного молодняку. Середньодобові прирости відповідно знизилися до 24,7; 26,6 та 28,4 г.

Аналіз відносного приросту також підтверджує найбільш інтенсивний розвиток молодняку у віці 60–75 діб. Максимальне значення цього показника встановлено у кролів породи полтавське срібло (39,0 %), тоді як у каліфорнійської породи воно становило 33,8 %, а у помісних тварин – 35,5 %. Надалі відносний приріст зменшувався до 12,8–14,1 %, що свідчить про уповільнення інтенсивності росту зі збільшенням віку.

Відносний приріст – відображає, наскільки швидко збільшується маса у відсотках від попереднього значення.

На завершальному етапі дослідження (90 діб) найвищу живу масу також мали помісні кролі – 3,054 кг, що перевищувало показники каліфорнійської породи на 0,187 кг (6,5 %), а породи полтавське срібло – на 0,425 кг (16,2 %).

Таким чином, результати досліджень свідчать, що використання міжпородного схрещування полтавського срібла з каліфорнійською породою забезпечує підвищення інтенсивності росту молодняку, збільшення абсолютних і середньодобових приростів та досягнення більшої живої маси у 90-добовому віці. Отримані дані підтверджують доцільність використання такого поєднання порід у виробництві кролятини, оскільки помісний молодняк характеризується вищим потенціалом м'ясної продуктивності порівняно з чистопородними аналогами.

Дані, наведені на рисунку 1, свідчать про істотні відмінності між дослідними групами за показниками передзабійної живої маси та забійних якостей молодняку кролів.

Найнижчі показники встановлено у тварин I групи (полтавське срібло). Передзабійна жива маса становила 2,4 кг, маса тушки з головою і лівером – 1,7 кг, а маса тушки без голови і ліверу – 1,4 кг.

У кролів II групи (каліфорнійська порода) спостерігалося покращення всіх досліджуваних показників. Передзабійна жива маса досягала 2,9 кг, що на 0,5 кг

(20,8 %) більше порівняно з тваринами I групи. Маса тушки з головою і лівером становила 1,9 кг, або на 11,8 % більше, ніж у контрольних аналогів, тоді як маса тушки без голови і ліверу збільшилася до 1,6 кг, що перевищувало показник I групи на 14,3 %.

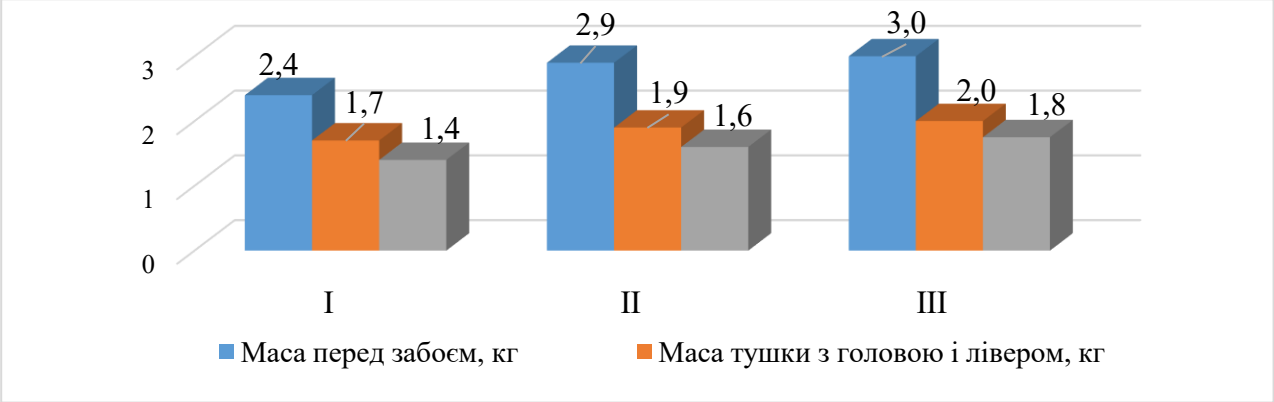


Рис. 1. Забійні якості молодняку кролів різних генотипів у 90-добовому віці

Найкращими забійними показниками характеризувалися кролі III групи (помісі полтавського срібла × каліфорнійської породи). Їх передзабійна жива маса досягала 3,0 кг, що відповідно на 25,0 % перевищувало контрольну групу та на 3,4 % – чистопородних каліфорнійських кролів. Маса тушки з головою і лівером становила 2,0 кг, що було на 17,6 % більше порівняно з I групою та на 5,3 % – з II групою. Аналогічна тенденція спостерігалася і за масою тушки без голови і ліверу, яка дорівнювала 1,8 кг, перевищуючи показники контрольної та другої груп відповідно на 28,6 та 12,5 %.

Отримані результати свідчать, що використання міжпородного схрещування полтавського срібла з каліфорнійською породою забезпечує підвищення м'ясної продуктивності молодняку. Помісні кролі характеризуються більшою передзабійною живою масою та вищою масою тушок, що свідчить про прояв ефекту гетерозису й підтверджує доцільність використання такого поєднання порід для виробництва кролятини.

Дані, наведені на рисунку 2, свідчать, що зі збільшенням віку до 120 діб у молодняку всіх дослідних груп відбулося закономірне підвищення показників передзабійної живої маси та забійних якостей. При цьому найкращі результати отримано у помісних кролів III групи.

У тварин I групи (полтавське срібло) передзабійна жива маса становила 3,1 кг, маса тушки з головою та лівером – 2,0 кг, а маса тушки без голови та ліверу – 1,7 кг.

Кролі II групи (каліфорнійська порода) характеризувалися вищими показниками порівняно з контрольною групою. Передзабійна жива маса досягла 3,6 кг, що на 0,5 кг (16,1 %) перевищувало аналогічний показник полтавського срібла. Маса тушки з головою та лівером становила 2,2 кг, або на 10,0 % більше,

ніж у контролі, тоді як маса тушки без голови та ліверу збільшилася до 1,9 кг, що на 11,8 % перевищувало показник I групи.

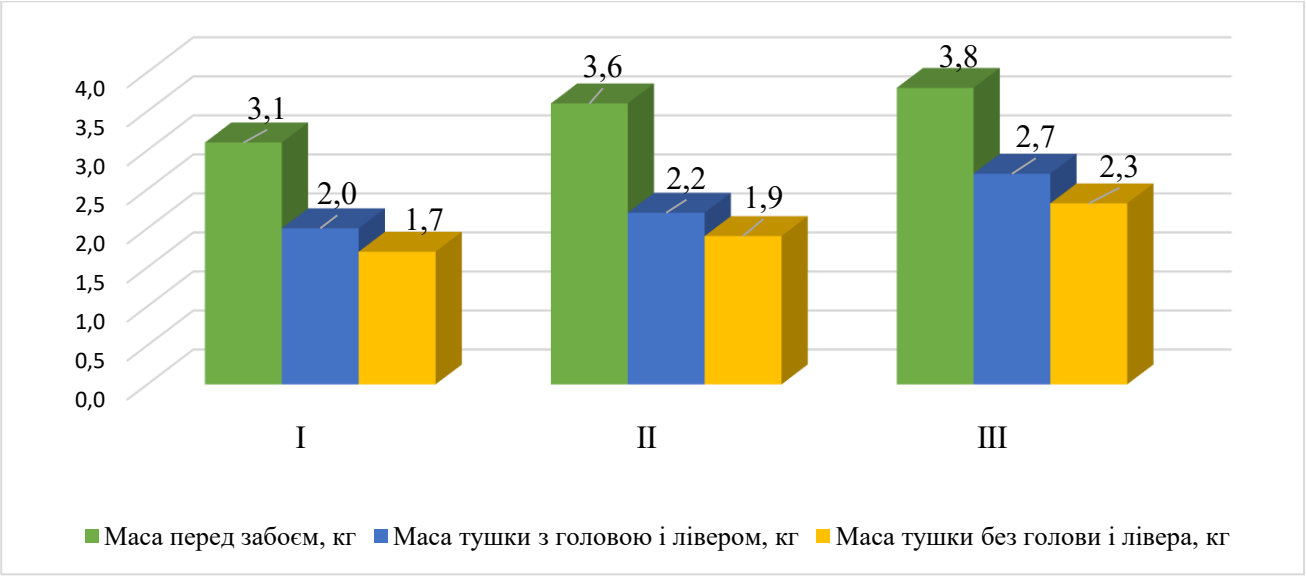


Рис. 2. Забійні якості молодняку кролів різних генотипів у 120-добовому віці

Найвищу м'ясну продуктивність продемонстрували помісні кролі III групи (полтавське срібло × каліфорнійська). Передзабійна жива маса у них становила 3,8 кг, що було на 22,6 % більше порівняно з контрольною групою та на 5,6 % – відносно чистопородних каліфорнійських кролів. Маса тушки з головою та лівером досягла 2,7 кг, перевищуючи показники I та II груп відповідно на 35,0 та 22,7 %. Аналогічна закономірність встановлена і за масою тушки без голови та ліверу, яка становила 2,3 кг, що більше, ніж у тварин I групи, на 35,3 %, а порівняно з II групою – на 21,1 %.

Порівняння результатів забою у 90- та 120-добовому віці свідчить, що додатковий період вирощування сприяв істотному збільшенню передзабійної живої маси та маси тушок незалежно від генотипу. Водночас найвищі темпи приросту забійних показників були характерні саме для помісного молодняку, що підтверджує ефективність використання міжпородного схрещування для підвищення м'ясної продуктивності кролів.

Таким чином, результати досліджень свідчать, що поєднання полтавського срібла з каліфорнійською породою забезпечує формування молодняку з вищими показниками росту та кращими забійними якостями порівняно з чистопородними аналогами. Це підтверджує доцільність використання такого варіанта схрещування у виробництві кролятини з метою підвищення ефективності галузі.

Порівняльний аналіз показав, що незалежно від генотипу зі збільшенням віку забою від 90 до 120 діб відзначалося підвищення передзабійної живої маси та маси тушок. Проте найбільш інтенсивне накопичення м'язової тканини спостерігалося у помісного молодняку, який перевищував чистопородних

ровесників за всіма основними показниками м'ясної продуктивності. Це свідчить про високу селекційну цінність використання промислового схрещування порід полтавське срібло та каліфорнійська.

Результати досліджень, наведені на рисунку 3, свідчать, що забійний вихід туш молодняку кролів залежав від генотипу тварин. Встановлено, що найнижчий показник отримано у кролів I групи (полтавське срібло), де забійний вихід становив 76,3 %.

У молодняку II групи (каліфорнійська порода) забійний вихід досягав 79,0 %, що на 2,7 відсоткових пункти (або 3,5 %) перевищувало показник контрольної групи. Отримані результати свідчать про кращу м'ясну продуктивність тварин спеціалізованої м'ясної породи порівняно з м'ясо-шкурковою породою полтавське срібло.

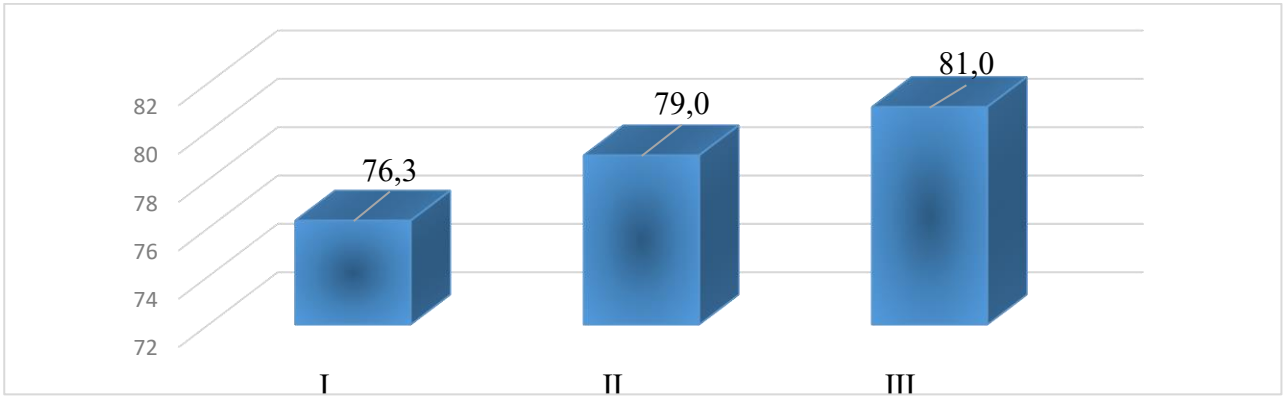


Рис. 3. Забійний вихід туш кролів у 120 денному віці, %

Найвищий забійний вихід встановлено у помісного молодняку III групи (полтавське срібло × каліфорнійська), який становив 81,0 %. Порівняно з контрольною групою цей показник був вищим на 4,7 відсоткових пункти, а відносно чистопородних каліфорнійських кролів – на 2,0 відсоткових пункти.

Отримані результати свідчать, що використання міжпородного схрещування сприяє підвищенню виходу їстівної частини туші та більш ефективному використанню живої маси тварин. Вищий забійний вихід у помісних кролів можна пояснити інтенсивнішим розвитком м'язової тканини та кращою реалізацією їхнього генетичного потенціалу продуктивності.

Таким чином, проведені дослідження підтверджують перевагу помісного молодняку, отриманого від схрещування порід полтавське срібло та каліфорнійська, за одним із найважливіших показників м'ясної продуктивності – забійним виходом. Це свідчить про доцільність використання такого поєднання порід у промисловому кролівництві для підвищення ефективності виробництва кролятини.

Узагальнюючи результати досліджень, слід зазначити, що помісний молодняк кролів (полтавське срібло × каліфорнійська) характеризувався найвищими показниками передзабійної живої маси, маси тушок та забійного виходу. Це свідчить про ефективність використання міжпородного схрещування

для підвищення м'ясної продуктивності кролів і підтверджує доцільність його впровадження у виробничих умовах.

Результати досліджень, наведені на рисунку 4, свідчать про істотний вплив генотипу на коефіцієнт м'ясності молодняку кролів. Цей показник характеризує співвідношення м'язової та кісткової тканин у туші й є одним із важливих критеріїв оцінки м'ясної продуктивності тварин.

Найнижче значення коефіцієнта м'ясності встановлено у кролів I групи (полтавське срібло) – 3,5 бала. Це свідчить про відносно менший вихід м'язової тканини порівняно з іншими дослідними групами.

У молодняку II групи (каліфорнійська порода) коефіцієнт м'ясності становив 3,9 бала, що на 0,4 бала, або 11,4 %, перевищувало показник контрольної групи. Отримані результати підтверджують високі м'ясні якості каліфорнійської породи, яка належить до спеціалізованих м'ясних генотипів.

Найкращий результат отримано у помісних кролів III групи (полтавське срібло × каліфорнійська), де коефіцієнт м'ясності досяг 4,7 бала. Це більше порівняно з контролем на 1,2 бала (34,3 %) та перевищує показник чистопородних каліфорнійських кролів на 0,8 бала (20,5 %).

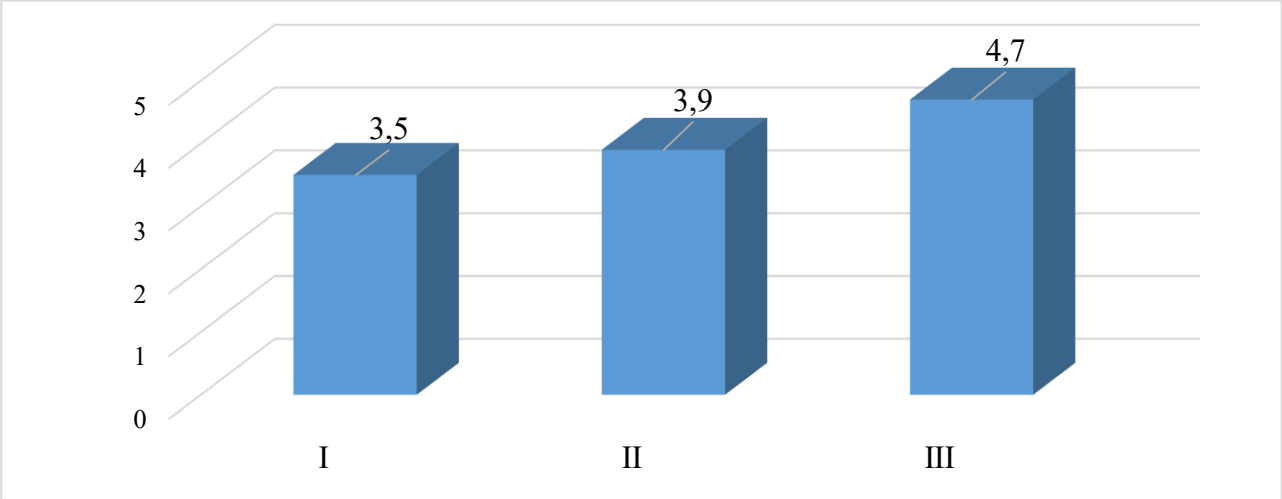


Рис. 4. Порівняльна оцінка коефіцієнта м'ясності молодняку кролів різних генотипів

Вищий коефіцієнт м'ясності у помісного молодняку свідчить про інтенсивніше накопичення м'язової тканини та більш раціональне співвідношення їстівної і неїстівної частин туші. Це можна пояснити проявом ефекту гетерозису, який позитивно вплинув на ріст м'язової тканини та формування м'ясних якостей.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що використання міжпородного схрещування полтавського срібла з каліфорнійською породою є ефективним методом підвищення м'ясної продуктивності кролів. Помісний молодняк характеризувався найкращими показниками коефіцієнта м'ясності, що свідчить про високу господарську цінність такого поєднання порід.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження показали, що міжпородне схрещування кролів порід полтавське срібло та каліфорнійська позитивно вплинуло на інтенсивність росту молодняку та формування м'ясної продуктивності. Помісні тварини переважали чистопородних ровесників за живою масою, абсолютними та середньодобовими приростами, передзабійною масою, забійним виходом і коефіцієнтом м'ясності. Отримані результати свідчать про ефективне поєднання спадкових особливостей батьківських форм та прояв ефекту гетерозису. Це підтверджує доцільність використання такого варіанта схрещування в технології виробництва кролятини.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Ібатулін І. І., Мельничук Д. О., Богданов Г. О. Годівля сільськогосподарських тварин. Вінниця : Нова Книга, 2020. 616 с.
2. Вагін Е. А. Сучасні підходи до підвищення продуктивності кролів. Ефективне кролівництво. 2021. № 2. С. 18–24.
3. Коцюбенко Г. А. Продуктивні та відтворювальні якості кролів різних генотипів. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2020. № 4 (108). С. 95–103.
4. Lebas F., Coudert P., Rouvier R., Rochambeau H. The Rabbit: Husbandry, Health and Production. Rome : FAO Animal Production and Health Series, 2019. 205 p.
5. Яппаров А. Х. Генетичні чинники формування продуктивності кролів. Кролівництво і звірівництво. 2018. № 1. С. 12–18.
6. Коцюбенко Г. А., Лихач В. Я., Луговий С. І. Ефективність схрещування кролів різних порід. Таврійський науковий вісник. 2022. № 124. С. 185–192.
7. NRC. Nutrient Requirements of Rabbits. 2nd revised edition. Washington, DC : National Academies Press, 2012. 384 p.
8. Maertens L. Feeding systems for intensive rabbit production. World Rabbit Science. 2018. Vol. 26. P. 1–12.
9. Dalle Zotte A. Rabbit farming for meat purposes. Animal Frontiers. 2014. Vol. 4(4). P. 62–67.
10. Xiccato G., Trocino A. Energy and protein metabolism in growing rabbits. World Rabbit Science. 2020. Vol. 28. P. 1–14.
11. Лихач В. Я., Крамаренко С. С., Коцюбенко Г. А. Технологія виробництва продукції кролівництва. Миколаїв : МНАУ, 2021. 286 с.
12. Крамаренко С. С., Лихач В. Я. Генетичні ресурси кролів в Україні та перспективи їх використання. Вісник аграрної науки. 2021. № 8. С. 39–46.
13. EFSA Panel on Animal Health and Welfare. Health and welfare of rabbits farmed in different production systems. EFSA Journal. 2020. Vol. 18(1). P. 1–137.
14. Lebas F. Rabbit feeding and nutrition. FAO. Rome, 2018. 176 p.
15. Dalle Zotte A., Szendrő Z. The role of rabbit meat as functional food. Meat Science. 2011. Vol. 88. P. 319–331.
16. Похил В. І., Коваленко В. П. Кролівництво. Київ : Аграрна освіта, 2019. 320 с.
17. Gidenne T., Combes S., Fortun-Lamothe L. Feed efficiency and digestive physiology of growing rabbits. Animal Feed Science and Technology. 2017. Vol. 225. P. 109–122.
18. De Blas C., Wiseman J. Nutrition of the Rabbit. 3rd ed. Wallingford : CABI Publishing, 2020. 344 p.

19. Лихач В. Я., Коцюбенко Г. А. Особливості вирощування молодняку кролів м'ясного напряму продуктивності. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Ґжицького. 2022. Т. 24. № 96. С. 95–101.
20. Коцюбенко Г. А., Лихач В. Я. Селекційні аспекти підвищення м'ясної продуктивності кролів. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Тваринництво». 2023. № 2 (53). С. 82–89.

Liudmyla Onyshchenko,
Candidate of Agricultural Sciences
Associate Professor, Department of Livestock Production Technology,
Mykolaiv National Agrarian University
Mykolaiv, Ukraine
ORCID 0000-0003-2666-9813
e-mail: onishenkoluda158@gmail.com

MEAT PRODUCTIVITY OF YOUNG RABBITS DURING FATTENING

Abstract.

The article presents the results of a study on the productive and meat traits of young Poltava Silver and Californian rabbits raised through purebred breeding and industrial crossbreeding. Key breeding and economic indicators were evaluated, specifically live weight, absolute, average daily, and relative weight gains, slaughter weight, dressing percentage, and the meatiness coefficient. It was established that the most intensive growth of young rabbits across all experimental groups occurred between the ages of 60 and 75 days. The highest absolute weight gain was recorded in the crossbred young rabbits of experimental group III, amounting to 895 g during this period. Peak average daily weight gains were also observed at 75 days of age. The best performance indicators were demonstrated by the crossbred rabbits of group III and the purebred Californian young rabbits, both of which achieved an average daily weight gain exceeding 57 g.

Keywords: rabbits, meat productivity, live weight, average daily weight gain, slaughter yield, meatiness coefficient, crossbreeding.

References

1. Ibatulin I. I., Melnychuk D. O., Bohdanov H. O. Feeding of Farm Animals. Vinnytsia : Nova Knyha, 2020. 616 p.
2. Vahin E. A. Modern approaches to increasing rabbit productivity. Effective Rabbit Farming. 2021. No. 2. P. 18–24.
3. Kotsiubenko H. A. Productive and reproductive qualities of rabbits of different genotypes. Bulletin of Agricultural Science of the Black Sea Region. 2020. No. 4 (108). P. 95–103.
4. Lebas F., Coudert P., Rouvier R., Rochambeau H. The Rabbit: Husbandry, Health and Production. Rome : FAO Animal Production and Health Series, 2019. 205 p.
5. Yapparov A. Kh. Genetic factors in the formation of rabbit productivity. Rabbit and Fur-Bearing Animal Breeding. 2018. No. 1. P. 12–18.
6. Kotsiubenko H. A., Lykhach V. Ya., Luhovyi S. I. Efficiency of crossbreeding rabbits of different breeds. Tavria Scientific Bulletin. 2022. No. 124. P. 185–192.
7. NRC. Nutrient Requirements of Rabbits. 2nd revised edition. Washington, DC : National Academies Press, 2012. 384 p.
8. Maertens L. Feeding systems for intensive rabbit production. World Rabbit Science. 2018. Vol. 26. P. 1–12.
9. Dalle Zotte A. Rabbit farming for meat purposes. Animal Frontiers. 2014. Vol. 4(4). P. 62–67.

10. Xiccato G., Trocino A. Energy and protein metabolism in growing rabbits. World Rabbit Science. 2020. Vol. 28. P. 1–14.
11. Lykhach V. Ya., Kramarenko S. S., Kotsiubenko H. A. Technology of rabbit production. Mykolaiv : MNAU, 2021. 286 p.
12. Kramarenko S. S., Lykhach V. Ya. Genetic resources of rabbits in Ukraine and prospects for their use. Bulletin of Agricultural Science. 2021. No. 8. P. 39–46.
13. EFSA Panel on Animal Health and Welfare. Health and welfare of rabbits farmed in different production systems. EFSA Journal. 2020. Vol. 18(1). P. 1–137.
14. Lebas F. Rabbit feeding and nutrition. FAO. Rome, 2018. 176 p.
15. Dalle Zotte A., Szendrő Z. The role of rabbit meat as functional food. Meat Science. 2011. Vol. 88. P. 319–331.
16. Pokhyl V. I., Kovalenko V. P. Rabbit Farming. Kyiv : Agrarna Osvita, 2019. 320 p.
17. Gidenne T., Combes S., Fortun-Lamothe L. Feed efficiency and digestive physiology of growing rabbits. Animal Feed Science and Technology. 2017. Vol. 225. P. 109–122.
18. De Blas C., Wiseman J. Nutrition of the Rabbit. 3rd ed. Wallingford : CABI Publishing, 2020. 344 p.
19. Lykhach V. Ya., Kotsiubenko H. A. Specifics of rearing young meat-breed rabbits. Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies named after S. Z. Gzhytskyj. 2022. Vol. 24. No. 96. P. 95–101.
20. Kotsiubenko H. A., Lykhach V. Ya. Breeding aspects of improving meat productivity in rabbits. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Animal Husbandry". 2023. No. 2 (53). P. 82–89.

Стаття надійшла до редакції 12.07.2026
Стаття пройшла рецензування 09.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

УДК 378.147:614.8:636.09
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.11

Олена Савчук
кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0002-0749-6833
e-mail: alenka.od.ua@gmail.com

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ КУЛЬТУРИ БЕЗПЕКИ У ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА»

Анотація

У статті висвітлено сучасні підходи до формування культури безпеки у майбутніх фахівців ветеринарної медицини в умовах трансформації професійного середовища та зростання рівня професійних ризиків. Проаналізовано особливості професійної підготовки здобувачів освіти з урахуванням небезпечних чинників, характерних для сучасної ветеринарної практики. Охарактеризовано основні ризики професійної діяльності, серед яких біологічні, психофізіологічні, цифрові та воєнні загрози.

Особливу увагу акцентовано на недостатньо досліджених аспектах формування культури безпеки, а саме: розвитку психоемоційної стійкості студентів, готовності до діяльності в умовах надзвичайних ситуацій та кризових обставин. Обґрунтовано необхідність використання ризик-орієнтованого підходу, інтерактивних освітніх технологій, практико-орієнтованого навчання та елементів кризової підготовки у процесі професійної освіти.

Представлено результати експериментального дослідження ефективності впровадження інноваційних методів формування культури безпеки у здобувачів спеціальності Н6 «Ветеринарна медицина». Встановлено, що інтеграція практичної підготовки, психологічної підтримки та компонентів цивільного захисту позитивно впливає на рівень сформованості культури безпеки майбутніх фахівців.

Ключові слова: *культура безпеки, ветеринарна медицина, охорона праці, біобезпека, професійні ризики, цивільний захист, психоемоційна стійкість.*

Вступ Професійна діяльність фахівців ветеринарної медицини характеризується підвищеним рівнем ризику, що зумовлено постійним контактом із тваринами, біологічними матеріалами, потенційними збудниками інфекційних захворювань, а також необхідністю виконання маніпуляцій в умовах обмеженого часу та підвищеної відповідальності. У сучасних умовах додатковими факторами ускладнення професійної діяльності виступають воєнні загрози, епізоотичні ризики, цифровізація ветеринарної практики та зростання психоемоційного навантаження на здобувачів освіти.

У зв’язку з цим особливої актуальності набуває проблема формування культури безпеки як інтегрованої професійної характеристики майбутніх ветеринарних фахівців, що визначає здатність особистості ідентифікувати небезпеки, оцінювати професійні ризики, дотримуватися вимог біобезпеки та охорони праці, а також приймати обґрунтовані рішення у стандартних і кризових

виробничих ситуаціях. У структурі професійної підготовки культура безпеки виступає не лише як сукупність знань і навичок, а як система поведінкових установок і професійного мислення, орієнтованого на мінімізацію ризиків.

Останнім часом в освітній практиці зростає значення інноваційних методів навчання, таких як кейс-метод, ризик-орієнтоване моделювання професійних ситуацій та тренінгові форми підготовки. Їх застосування дозволяє наблизити освітній процес до реальних умов професійної діяльності та забезпечити формування у здобувачів освіти практичних навичок безпечної поведінки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій Проблема формування культури безпеки у системі професійної освіти залишається актуальним напрямом сучасних наукових досліджень. Значна кількість українських та іноземних науковців (Буєва, Ю. Воробйов, Г. Гогіташвілі, О. Горностай, Є. Желібо, М. Зоріна, Ю. Іванов, В. Лапін, І. Нємкова, І. Сагайдак, О. Тереверко, О. Третьяков, Р. Цаліков та ін.) працюють над питаннями охорони праці, профілактики професійних ризиків, біобезпеки та розвитку навичок безпечної професійної поведінки.

У науковому дискурсі культура безпеки трактується як комплексна характеристика особистості, що поєднує професійні знання, практичні вміння, мотивацію до дотримання вимог безпеки та готовність діяти в потенційно небезпечних умовах. Науковці наголошують на необхідності формування ризик-орієнтованого мислення та розвитку практичних навичок безпечної діяльності у здобувачів освіти.

Окремий напрям досліджень стосується забезпечення біологічної безпеки у ветеринарній медицині. У працях учених акцентується увага на важливості дотримання санітарно-гігієнічних норм, використання засобів індивідуального захисту та профілактики професійного інфікування.

Разом із тим аналіз сучасних наукових джерел засвідчує недостатню розробленість інноваційних аспектів формування культури безпеки, зокрема проблем психоемоційного перенапруження, цифрової втоми, професійного вигорання та підготовки до діяльності в умовах надзвичайних ситуацій і воєнних загроз.

Метою дослідження є обґрунтування та експериментальна перевірка ефективності інноваційних підходів до формування культури безпеки у майбутніх фахівців ветеринарної медицини.

Гіпотеза дослідження полягає у припущенні, що системне впровадження інтерактивних технологій навчання, тренінгів психоемоційної стійкості та елементів кризового моделювання сприяє підвищенню рівня сформованості культури безпеки та зниженню кількості професійних помилок у здобувачів ветеринарної медицини.

Об’єктом дослідження є процес професійної підготовки майбутніх фахівців ветеринарної медицини.

Предметом дослідження є педагогічні умови та інноваційні технології формування культури безпеки у здобувачів вищої освіти.

Для досягнення поставленої мети використано комплекс взаємопов'язаних методів дослідження: аналіз наукової літератури, педагогічне спостереження, анкетування, тестування, моделювання професійних ситуацій, а також статистичну обробку результатів експерименту.

Виклад основного матеріалу дослідження Сучасний етап розвитку ветеринарної медицини характеризується активною цифровізацією, появою нових біологічних загроз, технологічними змінами та зростанням впливу надзвичайних ситуацій на професійну діяльність. За таких умов особливого значення набуває проблема формування культури безпеки як невід'ємного компонента професійної компетентності майбутніх ветеринарних фахівців.

Базовим нормативно-правовим актом у сфері забезпечення безпеки професійної діяльності є Закон України «Про охорону праці», який визначає основні принципи державної політики щодо збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності. Положення документа регламентують обов'язки роботодавця щодо створення безпечних і нешкідливих умов праці незалежно від характеру та місця виконання професійних обов'язків. Закон також передбачає необхідність урахування виробничих небезпек і шкідливих чинників під час організації трудового процесу, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, проведення інструктажів, навчання з питань охорони праці та здійснення систематичного контролю за станом здоров'я персоналу [1].

За даними досліджень у сфері охорони праці, виробничий травматизм у агропромисловому комплексі України, зокрема у ветеринарній медицині та тваринництві, залишається актуальною проблемою професійної безпеки [2]. Суттєве значення у нормативно-правовому забезпеченні професійної підготовки майбутніх фахівців ветеринарної медицини має Закон України «Про ветеринарну медицину та благополуччя тварин», положення якого визначають основні організаційні та правові механізми здійснення ветеринарної діяльності, забезпечення ветеринарно-санітарного контролю, а також дотримання вимог біологічної безпеки. Нормативний документ регламентує порядок проведення ветеринарних заходів, виконання лабораторної діагностики, роботи з біологічними зразками та реалізації профілактичних заходів, спрямованих на запобігання поширенню інфекційних і особливо небезпечних захворювань тварин [3]. Його положення формують нормативне підґрунтя для розвитку у здобувачів освіти професійної відповідальності, дотримання принципів біобезпеки та готовності до безпечного виконання професійних обов'язків.

Традиційно питання культури безпеки у професійній підготовці розглядалися переважно крізь призму охорони праці та дотримання вимог біобезпеки. Проте парадокс полягає в тому, що підходи до охорони праці персоналу часто залишається на рівні застарілих нормативів та інструкцій [4, с.28].

Термін «культура охорони праці» набув поширення на початку XXI століття та був офіційно закріплений у документах у 2003 році. Відповідно до

підходу, запропонованого International Labour Organization (МОП), профілактично орієнтована культура охорони праці передбачає гарантування кожному працівникові права на безпечне та здорове трудове середовище. Її реалізація ґрунтується на спільній відповідальності державних органів, роботодавців і працівників за створення належних умов праці через чітке визначення їхніх прав, обов'язків і сфер відповідальності, при цьому запобігання професійним ризикам розглядається як ключовий пріоритет [5, с. 23]. Водночас сучасні виклики актуалізують необхідність розширення змісту професійної підготовки шляхом розвитку психоемоційної стійкості, готовності до кризових ситуацій та формування навичок безпечної професійної поведінки в умовах підвищеного ризику.

Поняття «культура безпеки» набуває особливої актуальності, оскільки безпека професійної діяльності є одним із ключових чинників збереження життя, здоров'я та працездатності працівників. Сучасна безпекова підготовка передбачає не лише засвоєння нормативних положень, а й формування культури безпеки як інтегральної професійної характеристики особистості. Її сутність полягає у здатності майбутнього фахівця ідентифікувати потенційні ризики, здійснювати критичний аналіз виробничих ситуацій та приймати рішення, спрямовані на запобігання небезпекам і збереження здоров'я людей. Важливу роль у цьому процесі відіграє навчальна дисципліна «Безпека життєдіяльності та цивільний захист», опанування якої забезпечує формування у здобувачів вищої освіти компетентностей, необхідних для безпечної професійної діяльності [6, с. 483].

Особливого значення проблема формування культури безпеки зазнає у системі підготовки майбутніх фахівців ветеринарної медицини, професійна діяльність яких супроводжується впливом значної кількості небезпечних і шкідливих факторів. Звісно культура безпеки не обмежується лише дотриманням інструкцій або правил техніки безпеки, а передбачає формування саме професійного мислення, де питання безпеки стає пріоритетними у процесі прийняття рішень та виконання професійних обов'язків. Результати сучасних досліджень свідчать про необхідність системного включення питань культури безпеки, управління помилками та професійної комунікації до змісту ветеринарної освіти [7, с. 554].

Професійна компетентність у сфері безпеки передбачає здатність правильно використовувати засоби індивідуального захисту, дотримуватися санітарно-гігієнічних вимог, безпечно виконувати ветеринарні маніпуляції та працювати з біологічними матеріалами. Не менш важливими є навички фіксації тварин, проведення дезінфекційних і стерилізаційних заходів, а також уміння своєчасно визначати потенційні професійні небезпеки та оцінювати рівень ризику під час виконання практичних робіт.

У межах нашого дослідження поняття «культура безпеки» розглядається нами як інтегративна характеристика особистості, що включає систему професійних знань, практичних умінь, навичок, цінностей, мотивації та моделей

поведінки, спрямованих на забезпечення безпечної професійної діяльності та профілактику професійних ризиків. Культура безпеки передбачає усвідомлене ставлення особистості до питань охорони праці, відповідальність за власне життя і здоров'я, а також готовність діяти в умовах потенційної небезпеки. Формування культури безпеки майбутніх фахівців ветеринарної медицини ґрунтується на:

- знаннях нормативно-правових основ охорони праці та біобезпеки;
- навичках безпечного виконання ветеринарних маніпуляцій;
- здатності оцінювати професійні ризики;
- готовності до дій у надзвичайних ситуаціях;
- психологічній стійкості у стресових умовах;
- відповідальному ставленні до безпечної професійної діяльності;
- правилах техніки безпеки;
- вимогах виробничої санітарії;
- методах профілактики професійного інфікування.

Професійна діяльність фахівців ветеринарної медицини здійснюється з урахуванням вимог біобезпеки та ветеринарного законодавства [8]. Важливою складовою професійної підготовки майбутніх ветеринарних фахівців є розвиток практичних умінь, спрямованих на забезпечення безпечної професійної діяльності.

Результативність формування культури безпеки значною мірою визначається практичною спрямованістю освітнього процесу. У зв'язку з цим виникає потреба у модернізації системи професійної підготовки майбутніх ветеринарних фахівців шляхом упровадження інноваційних підходів до формування культури безпеки. Використання лабораторних занять, професійних тренінгів та моделювання виробничих ситуацій дозволяє максимально наблизити підготовку студентів до реальних умов майбутньої професійної діяльності та сприяє закріпленню навичок безпечної поведінки.

У процесі професійної підготовки доцільним є застосування методів аналізу професійних ризиків, прогнозування потенційно небезпечних ситуацій і розгляду типових виробничих випадків. Особливого значення набуває формування готовності здобувачів освіти до діяльності в умовах надзвичайних ситуацій, що потребує системного та практико-орієнтованого підходу до навчання. У цьому контексті важливим є розвиток умінь оперативно оцінювати рівень небезпеки, приймати обґрунтовані рішення в умовах стресу та дефіциту часу, організовувати безпечну професійну діяльність у польових умовах, а також ефективно взаємодіяти з іншими членами команди під час кризових або надзвичайних ситуацій.

Воєнний стан в Україні суттєво трансформував умови професійної підготовки здобувачів ветеринарної освіти та зумовив появу нових викликів у сфері безпеки професійної діяльності. Функціонування системи ветеринарної медицини в умовах воєнних дій, техногенних небезпек і кризових ситуацій потребує адаптації освітнього процесу до сучасних ризиків та підвищення рівня готовності майбутніх фахівців до роботи в нестабільних умовах.

Сучасні безпекові виклики актуалізують необхідність посилення ролі дисципліни «Цивільний захист та охорона праці в галузі» у структурі професійної підготовки майбутніх ветеринарних фахівців. Водночас виникає потреба у переосмисленні підходів до формування культури безпеки з урахуванням комплексу сучасних загроз, серед яких біологічні, психофізіологічні, цифрові та воєнні ризики.

За таких умов професійна освіта повинна забезпечувати не лише формування фахових компетентностей [9], а й розвиток навичок кризового реагування, психологічної стійкості, здатності діяти в умовах надзвичайних ситуацій та приймати безпечні професійні рішення в обставинах підвищеного ризику.

В умовах воєнного стану, поширення епізоотичних ризиків і зростання кількості надзвичайних ситуацій проблема формування культури безпеки у майбутніх фахівців ветеринарної медицини набуває особливої актуальності. Сучасна професійна діяльність ветеринарного працівника може здійснюватися в умовах підвищеної небезпеки, що супроводжується руйнуванням виробничої інфраструктури, дефіцитом захисних засобів і медичних ресурсів, перебоями енергозабезпечення, а також наявністю мінних, біологічних і техногенних загроз.

За таких обставин система професійної освіти повинна бути орієнтована на формування готовності здобувачів освіти до ефективних дій у кризових та екстремальних ситуаціях. Майбутні ветеринарні фахівці мають оволодіти практичними навичками цивільного захисту, знати алгоритми евакуації, володіти основами домедичної допомоги та дотримуватися правил безпечної поведінки у разі виявлення вибухонебезпечних предметів. Важливою складовою підготовки є також здатність організовувати безпечну професійну діяльність у польових і нестандартних умовах.

Необхідність забезпечення професійної готовності до роботи в умовах сучасних загроз зумовлює потребу у впровадженні комплексного підходу до формування культури безпеки. Ефективними засобами такої підготовки є проведення евакуаційних тренінгів, відпрацювання алгоритмів дій під час повітряної тривоги, практичні заняття з мінної безпеки, навчання наданню домедичної допомоги, моделювання кризових виробничих ситуацій та тренування навичок реагування на біологічні небезпеки.

Система управління охороною праці базується на ризик-орієнтованому підході та міжнародних стандартах безпеки [10]. Стандарт ISO 45001 пропонує проактивний, ризик-орієнтований підхід, що перетворює охорону праці «з паперу повинності» та бюрократії на ефективний інструмент управління клінікою, що є особливо актуальним для закладів, які прагнуть надавати послуги найвищої якості [11, с.43]. На практиці у вітернарії це означає виявлення слабких місць та потенційних небезпек ще до того, як вони призведуть до реальних травм чи фінансових втрат для клініки.

Упровадження ризик-орієнтованого підходу у професійну підготовку

сприяє формуванню у майбутніх ветеринарних фахівців умінь своєчасно виявляти небезпечні фактори, визначати рівень професійного ризику, прогнозувати розвиток небезпечних ситуацій та обирати найбільш безпечні алгоритми професійної діяльності. Водночас важливим результатом такого підходу є розвиток відповідального ставлення до питань особистої та колективної безпеки, що виступає необхідною складовою професійної компетентності сучасного ветеринарного працівника.

Професійна діяльність фахівця ветеринарної медицини супроводжується значною кількістю небезпечних чинників, що можуть виникати під час взаємодії з агресивними тваринами, роботи з біологічними матеріалами, застосування хімічних препаратів, проведення оперативних втручань, виконання професійних завдань у польових умовах або під час ліквідації епізоотичних осередків.

Ефективним інструментом реалізації ризик-орієнтованого підходу є проведення практичних занять із використанням реальних професійних сценаріїв, під час яких студенти аналізують потенційні небезпеки та обґрунтовують заходи їх попередження.

Важливим напрямом удосконалення професійної підготовки є використання інтерактивних методів навчання, які забезпечують активне залучення здобувачів освіти до процесу формування культури безпеки. На відміну від традиційних лекційних форм навчання, інтерактивні технології сприяють:

- розвитку критичного мислення;
- формуванню навичок командної взаємодії;
- підвищенню мотивації до навчання;
- розвитку здатності приймати рішення у нестандартних ситуаціях;
- закріпленню практичних навичок безпечної поведінки.

У процесі професійної підготовки майбутніх ветеринарних фахівців доцільно використовувати: дискусії; мозкові штурми; ситуаційні завдання; рольові ігри; інтерактивні тренінги; групові практичні завдання; проблемно-ситуативне навчання; практичні кейси; ситуаційні завдання; симуляційні вправи; тестування; спостереження за діями студентів; самооцінювання рівня готовності до безпечної професійної діяльності.

Розглянемо використання на заняттях з дисципліни «Цивільний захист та охорона праці в галузі» сучасних інтерактивних та практико-орієнтованих методів навчання, які сприяють формуванню культури безпеки, професійної відповідальності та готовності до діяльності в умовах виробничих ризиків і надзвичайних ситуацій. Так особливу ефективність демонструють *рольові ігри,* під час яких студенти моделюють професійну взаємодію у ветеринарній клініці, лабораторії або польових умовах. Рольові ігри сприяють розвитку професійної комунікації, готовності до роботи у стресових умовах, забезпечують моделювання реальних професійних ситуацій та сприяють розвитку командної взаємодії. Наприклад, проводиться рольова гра: «Надходження до ветеринарної клініки тварини з підозрою на сказ». Студенти виконують ролі: ветеринарного

лікаря; асистента; власника тварини; працівника лабораторії; представника служби епізоотичного контролю. Учасники повинні: організувати безпечну роботу; правильно використовувати засоби захисту; дотримуватися правил біобезпеки; ухвалити рішення щодо подальших дій.

Під час *дискусій* студенти аналізують суперечливі професійні ситуації, оцінюють можливі ризики та обґрунтовують власну позицію. Так наприклад пропонується тема: «Чи допустимо проводити ветеринарні маніпуляції без повного комплекту засобів індивідуального захисту в умовах невідкладної допомоги тварині?» У ході обговорення здобувачі освіти аналізують: потенційні біологічні ризики; відповідальність ветеринарного фахівця; наслідки порушення правил біобезпеки; можливі альтернативні рішення.

Мозковий штурм дозволяє швидко генерувати ідеї щодо вирішення професійних проблем та формує навички колективного пошуку безпечних рішень. Наприклад, студентам пропонується ситуація: «Під час польового огляду тварин виникла підозра на особливо небезпечне інфекційне захворювання». Учасники мозкового штурму повинні визначити: можливі ризики; першочергові дії ветеринарного фахівця; засоби захисту; алгоритм повідомлення відповідних служб; заходи локалізації загрози. Такий метод розвиває швидкість професійного мислення та вміння діяти в умовах дефіциту часу.

Ситуаційні завдання спрямовані на формування навичок аналізу професійних ризиків та прийняття рішень у конкретних виробничих умовах.

Наприклад: «Під час проведення ін’єкції велика тварина почала проявляти агресивну поведінку, а студент не встиг правильно зафіксувати її » Студенти повинні визначити причини небезпечної ситуації; оцінити ризики травмування; запропонувати безпечний алгоритм дій; визначити помилки працівника.

Проблемно-ситуативне навчання передбачає створення умов, за яких студенти самостійно шукають рішення складної професійної проблеми. Наприклад: «У ветеринарній лабораторії відбулося пошкодження контейнера з біологічним матеріалом». Студенти повинні: оцінити рівень біологічної небезпеки; визначити алгоритм локалізації загрози; запропонувати заходи дезінфекції; визначити порядок евакуації персоналу.

Інтерактивні методи сприяють формуванню відповідальності за колективну безпеку, що є важливою складовою культури безпеки у професійній діяльності.

Ефективним інноваційним підходом до формування культури безпеки є кейс-метод, який передбачає аналіз реальних або змодельованих професійних ситуацій.

Використання кейс-методу у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців ветеринарної медицини сприяє розвитку практичних умінь аналізувати професійні ризики, формуванню професійного мислення та вдосконаленню навичок прийняття рішень у ситуаціях підвищеної небезпеки. Робота з практичними кейсами дозволяє здобувачам освіти моделювати алгоритми

безпечної професійної поведінки та набувати досвіду реагування на потенційно небезпечні виробничі ситуації.

У процесі навчання студентам пропонуються змодельовані або реальні професійні ситуації, що стосуються травмування персоналу, проявів агресивної поведінки тварин, порушення вимог біобезпеки, аварій у ветеринарних лабораторіях, виникнення епізоотичних небезпек, а також організації професійної діяльності в умовах надзвичайних ситуацій. Аналіз подібних кейсів сприяє розвитку здатності швидко оцінювати ризики, визначати причини виникнення небезпек і приймати обґрунтовані рішення щодо забезпечення безпечних умов професійної діяльності.

У процесі роботи з кейсами здобувачі освіти здійснюють оцінювання потенційних небезпек, визначають чинники виникнення професійних ризиків та обґрунтовують комплекс заходів, спрямованих на їх попередження або зниження рівня небезпеки. Такий підхід сприяє розвитку аналітичного мислення, професійної відповідальності та навичок прийняття рішень у нестандартних виробничих ситуаціях.

Важливе місце у професійній підготовці займає моделювання професійних ситуацій, що дозволяє максимально наблизити освітній процес до реальних умов майбутньої діяльності ветеринарного фахівця. Практичне відпрацювання алгоритмів дій у змодельованих умовах сприяє формуванню готовності до безпечного виконання професійних обов’язків та підвищує рівень професійної компетентності здобувачів освіти.

Особливу ефективність демонструють симуляційні вправи, у яких умови виконання завдань можуть раптово змінюватися. Такі методики сприяють розвитку здатності оперативно реагувати на кризові обставини, адаптуватися до нових ризиків та приймати безпечні професійні рішення в умовах невизначеності.

У сучасних реаліях підготовка майбутніх фахівців ветеринарної медицини до діяльності в умовах надзвичайних ситуацій і кризових подій стає необхідною складовою професійної освіти, оскільки професійна діяльність дедалі частіше здійснюється в умовах підвищених ризиків і нестабільного безпекового середовища.

Кризові тренінги у системі професійної підготовки майбутніх ветеринарних фахівців спрямовані на розвиток готовності до діяльності в умовах підвищеної небезпеки та невизначеності. Такі форми підготовки сприяють формуванню здатності оперативно приймати рішення, ефективно діяти в стресових ситуаціях, взаємодіяти у складі команди та застосовувати алгоритми самозахисту й евакуації під час виникнення надзвичайних подій.

У межах практичних тренінгів здобувачі освіти відпрацьовують дії в умовах повітряної тривоги, навчаються алгоритмам евакуації, опановують правила поведінки у разі виявлення вибухонебезпечних предметів, а також набувають навичок надання домедичної допомоги. Важливою складовою такої підготовки є організація безпечної професійної діяльності у польових умовах та

відпрацювання механізмів реагування на біологічні небезпеки й епізоотичні загрози.

Запровадження кризових тренінгів у процес професійної освіти сприяє розвитку психологічної стійкості майбутніх ветеринарних фахівців, підвищує рівень їхньої готовності до роботи в умовах ризику та допомагає зменшити прояви дезорганізації й панічних реакцій у небезпечних ситуаціях.

Одним із перспективних напрямів удосконалення системи формування культури безпеки у майбутніх фахівців ветеринарної медицини є психологічна підготовка, яка в сучасних дослідженнях ще недостатньо висвітлена. Професійна діяльність ветеринарного працівника пов’язана зі значним емоційним та психофізіологічним навантаженням, що може негативно позначатися на концентрації уваги, швидкості професійного реагування та дотриманні вимог безпечної поведінки.

Тривале психоемоційне перенапруження нерідко супроводжується підвищеним рівнем тривожності, емоційним виснаженням, страхом припуститися професійної помилки, погіршенням концентрації уваги, розвитком професійного вигорання та схильністю до імпульсивних рішень у складних ситуаціях. Такі прояви можуть знижувати рівень професійної надійності майбутнього фахівця та підвищувати ризик небезпечних дій під час виконання практичних маніпуляцій.

З метою розвитку стресостійкості та психологічної готовності до професійної діяльності доцільним є використання психологічних тренінгів, вправ на розвиток самоконтролю, методик емоційної саморегуляції, а також симуляційних вправ, що моделюють професійні ситуації з високим рівнем емоційного напруження. Важливу роль відіграють вправи, спрямовані на підтримання концентрації уваги та формування навичок ефективного реагування в умовах стресу.

Особливо результативним є моделювання кризових ситуацій, ускладнених дефіцитом часу, несподіваними змінами виробничих умов та високим рівнем відповідальності. Подібні методи сприяють розвитку здатності контролювати емоційний стан, приймати виважені рішення та дотримуватися принципів безпечної професійної поведінки навіть у критичних обставинах.

Отже, психологічна підготовка виступає важливою складовою формування культури безпеки, оскільки сприяє зниженню ймовірності професійних помилок, підвищенню рівня професійної стійкості та формуванню готовності майбутніх ветеринарних фахівців до діяльності в умовах сучасних викликів і ризиків.

Отже, впровадження інноваційних педагогічних підходів до формування культури безпеки суттєво підвищує результативність професійної підготовки майбутніх ветеринарних фахівців і забезпечує розвиток їхньої готовності до безпечної та відповідальної професійної діяльності в реальних виробничих умовах.

Охорона праці та біобезпека виступають ключовими компонентами

освітньо-професійної підготовки у сфері ветеринарної медицини. Їхнє стратегічне призначення полягає у формуванні в здобувачів освіти системи професійних компетентностей, що забезпечують дотримання вимог безпеки, попередження професійних ризиків та збереження здоров'я як самих фахівців, так і оточення [12].

Важливим напрямом модернізації професійної освіти є розвиток психологічної готовності до діяльності у складних і потенційно небезпечних умовах. Формування стресостійкості, навичок емоційної саморегуляції та здатності ефективно діяти у кризових ситуаціях безпосередньо впливає на зниження ймовірності професійних помилок і підвищення рівня безпечної поведінки майбутніх фахівців.

Таким чином, охорону праці та біобезпеку доцільно розглядати не як ізольовані навчальні дисципліни, а як інтегровану систему формування професійної культури безпеки у майбутніх ветеринарних спеціалістів.

Окрему проблему становлять порушення вимог біобезпеки, некоректне застосування засобів індивідуального захисту, а також недостатній рівень практичної підготовки студентів. У процесі виробничого навчання здобувачі освіти можуть стикатися з ризиками травмування, зокрема укусами або подряпинами, а також із можливим контактом із кров'ю та іншими біологічними рідинами тварин.

Забезпечення біологічної безпеки набуває глобального значення, що зумовлено інтенсифікацією міграційних процесів, кліматичними змінами, появою нових інфекційних агентів та ускладненням епізоотичної ситуації. Це, у свою чергу, актуалізує необхідність оновлення змісту професійної підготовки майбутніх ветеринарних фахівців відповідно до сучасних вимог біобезпеки та міжнародних стандартів охорони праці. У цьому контексті біологічна безпека виступає одним із базових елементів формування загальної культури безпеки у сфері ветеринарної медицини.

Водночас суттєвим викликом для системи професійної освіти є психофізіологічні навантаження, які безпосередньо впливають на рівень професійної надійності, якість виконання службових обов'язків та готовність здобувачів освіти до практичної діяльності. Професійна діяльність ветеринарного спеціаліста характеризується високою відповідальністю, необхідністю оперативного прийняття рішень, постійним емоційним напруженням і роботою в умовах стресових ситуацій.

Під час навчання здобувачі освіти стикаються зі складними клінічними випадками, агресивною або травмованою тваринною, виконанням інвазивних маніпуляцій та емоційно складними професійними ситуаціями. Основними чинниками психофізіологічного навантаження виступають підвищена емоційна відповідальність, страх помилки, ризик травмування, недостатній рівень практичного досвіду, значне навчальне навантаження, тривала концентрація уваги, фізичне виснаження та ненормований характер практичної діяльності.

Окремої уваги потребує проблема професійного вигорання, яке може

формуватися ще на етапі здобуття освіти. Тривале психоемоційне напруження призводить до зниження мотивації до навчальної діяльності, погіршення когнітивної концентрації, емоційного виснаження та підвищення ймовірності помилок під час виконання професійних завдань.

У ході проведеного дослідження встановлено, що підвищений рівень тривожності та емоційного напруження суттєво знижує якість дотримання вимог безпеки праці під час виконання професійних завдань. Зокрема, у здобувачів освіти частіше спостерігаються такі типові порушення, як недотримання встановлених алгоритмів виконання маніпуляцій, некоректне або нераціональне використання засобів індивідуального захисту, помилки під час роботи з обладнанням, а також часткове ігнорування вимог біобезпеки.

У зв'язку з цим сучасна система професійної підготовки майбутніх ветеринарних фахівців має бути спрямована не лише на засвоєння фахових знань і формування практичних умінь, але й на розвиток психологічної стійкості, навичок емоційної саморегуляції та готовності ефективно діяти в умовах стресових і непередбачуваних ситуацій. Формування психоемоційної стабільності виступає важливим чинником зниження ризику професійних помилок і підвищення рівня безпечної поведінки у майбутній професійній діяльності.

Емпіричне дослідження було проведено на базі закладу вищої освіти аграрного профілю серед здобувачів спеціальності Н6 «Ветеринарна медицина». Загалом у дослідженні взяли участь 48 студентів, які були розподілені на контрольну та експериментальну групи для забезпечення порівняльного аналізу результатів.

У межах проведеного дослідження застосовано комплекс взаємодоповнювальних методів, що дозволили всебічно проаналізувати особливості формування культури безпеки у здобувачів ветеринарної освіти. Зокрема, використано аналіз наукових джерел, анкетування, педагогічне спостереження, тестові методики, моделювання професійно-орієнтованих ситуацій, а також методи статистичної обробки отриманих результатів. Для експериментальної групи було запроваджено додаткові педагогічні впливи, серед яких інтерактивні тренінгові заняття, елементи кризового моделювання, програми розвитку психоемоційної стійкості, кейс-методика та інструменти оцінювання професійних ризиків.

Окрему увагу в дослідженні приділено недостатньо розробленому аспекту - впливу психоемоційного стану здобувачів освіти на рівень безпечної професійної поведінки під час виконання практичних ветеринарних маніпуляцій. На відміну від традиційних досліджень, у яких акцент переважно робиться на технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних складових безпеки праці, у даній роботі розглянуто психологічні детермінанти професійної надійності майбутніх ветеринарних фахівців.

Встановлено, що під час практичної підготовки здобувачі освіти нерідко виконують професійні завдання в умовах підвищеного психоемоційного

навантаження. Його джерелами виступають страх травмування при контакті з агресивними тваринами, недостатній рівень практичних навичок, висока відповідальність за стан тварини, необхідність оперативного прийняття рішень у обмежений час, а також складні емоційно насичені ситуації (зокрема евтаназія тварин, тяжкі клінічні випадки, кровотечі та травматичні ураження). Додатковими стресогенними факторами є шумове навантаження, присутність великої кількості людей та вплив інших виробничих подразників.

З метою визначення впливу психоемоційного стану на рівень безпечної професійної поведінки здобувачів освіти було організовано педагогічне спостереження під час виконання ними практичних завдань. Додатково застосовувалися методи анкетування, самооцінювання рівня тривожності, а також аналіз характерних помилок, які допускали майбутні фахівці ветеринарної медицини у процесі виконання професійних операцій.

Отримані результати свідчать, що у студентів із підвищеним рівнем психоемоційного напруження частіше фіксуються порушення технологічної послідовності виконання маніпуляцій, недотримання окремих етапів алгоритмів безпечної роботи, некоректне використання засобів індивідуального захисту. Також спостерігається зниження концентрації уваги, погіршення координації рухів та схильність до імпульсивного прийняття рішень у ситуаціях професійної невизначеності.

Найбільша кількість помилок у процесі практичної підготовки фіксувалася під час виконання таких операцій, як фіксація великих тварин, проведення ін’єкцій, відбір біологічного матеріалу, робота з гострими інструментами, а також під час проведення лабораторних досліджень із біологічними зразками.

Аналіз отриманих даних показав, що у 62,5 % здобувачів освіти з високим рівнем тривожності спостерігалися порушення вимог безпечного виконання практичних маніпуляцій. У 37,5 % випадків виявлено некоректне застосування засобів індивідуального захисту, тоді як у 29,1 % респондентів зафіксовано помилки під час роботи з лабораторним обладнанням і гострими інструментами.

Під час моделювання стресових професійних ситуацій встановлено, що підвищене емоційне напруження негативно впливає на швидкість і якість прийняття рішень. Зокрема, в умовах обмеженого часу здобувачі освіти частіше порушували вимоги біобезпеки, пропускали окремі етапи дезінфекційних процедур або неточно оцінювали рівень професійного ризику.

З метою зменшення негативного впливу психоемоційного навантаження на професійну діяльність у межах експериментальної групи було впроваджено систему спеціально організованих психолого-педагогічних заходів. До них віднесено тренінгові заняття, спрямовані на розвиток стресостійкості, вправи для підвищення концентрації уваги, елементи кризового моделювання, відпрацювання алгоритмів дій у потенційно небезпечних умовах, а також міні-тренінги з формування навичок емоційної саморегуляції. Окремий акцент зроблено на командній роботі із розподілом професійних ролей у змодельованих виробничих ситуаціях.

Підвищену ефективність продемонструвало використання симуляційних сценаріїв, що передбачали раптову зміну умов професійної діяльності. Зокрема, студентам пропонувалися ситуації, пов'язані з агресивною поведінкою тварини, раптовим відключенням електропостачання, пошкодженням засобів індивідуального захисту або необхідністю оперативного реагування в умовах умовної епізоотичної загрози. Застосування таких підходів сприяло формуванню у здобувачів освіти навичок оперативної оцінки ризиків та прийняття обґрунтованих рішень у стресових професійних умовах.

Після реалізації комплексу зазначених заходів у здобувачів експериментальної групи відзначено позитивну динаміку у формуванні професійно важливих якостей. Зокрема, спостерігалося підвищення рівня уважності під час виконання практичних маніпуляцій, зменшення частоти допущених помилок, покращення дотримання вимог біобезпеки, а також зростання впевненості у виконанні професійних дій. Важливим результатом стало також формування та закріплення навичок емоційного самоконтролю.

Аналіз результатів експерименту засвідчив, що загальна кількість помилкових дій під час виконання практичних завдань зменшилася на 31,4 %, що свідчить про суттєве підвищення рівня професійної готовності здобувачів освіти до діяльності в умовах підвищеного ризику. Отримані дані підтверджують, що психоемоційний стан є вагомим структурним компонентом культури безпеки майбутніх фахівців ветеринарної медицини та потребує системного врахування в освітньому процесі.

В умовах сучасних воєнних викликів у зміст професійної підготовки було інтегровано елементи цивільного захисту та кризового реагування. Здобувачі освіти опрацьовували алгоритми евакуаційних дій, правила поведінки під час повітряної тривоги, порядок дій у разі виявлення вибухонебезпечних предметів, основи надання домедичної допомоги, а також принципи організації безпечної роботи у польових умовах.

Висновки Підсумовуючи результати дослідження, слід зазначити, що формування культури безпеки у майбутніх фахівців ветеринарної медицини є складним багатовимірним процесом, який потребує системного оновлення підходів до професійної підготовки здобувачів освіти. Зростання інтенсивності біологічних ризиків, підвищення рівня психоемоційного навантаження, а також вплив воєнних і техногенних факторів зумовлюють необхідність переорієнтації освітнього процесу на сучасні, інноваційно орієнтовані моделі навчання.

Отримані в ході експерименту результати засвідчили дієвість застосування інтерактивних освітніх технологій, тренінгових методик розвитку психоемоційної стійкості, а також елементів кризового моделювання. Їх комплексне використання сприяє підвищенню рівня сформованості культури безпеки, розвитку здатності до прийняття обґрунтованих рішень у стресових умовах та формуванню відповідального ставлення до професійної діяльності.

Перспективними напрямами подальших наукових розвідок визначено поглиблене дослідження впливу психоемоційного стану на рівень професійної

безпеки майбутніх фахівців, а також удосконалення методичних підходів до підготовки ветеринарних спеціалістів до роботи в умовах надзвичайних ситуацій та підвищених ризиків.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII : станом на 12 верес. 2025 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text (дата звернення: 29.05.2026 р.)
2. Травматизм на виробництві : статистичні дані / Державна служба статистики України. URL: Державна служба статистики України (дата звернення: 12.05.2026).
3. Про ветеринарну медицину та благополуччя тварин : Закон України від 04.02.2021 № 1206-IX. URL: Законодавство України (дата звернення: 12.05.2026)
4. Геврик Є. О. Охорона праці у ветеринарній медицині : навч. посіб. / Є. О. Геврик. - Львів : Манголія, 2022. - 280 с.
5. Тереверко О. Культура охорони праці в документах МОП / О. Тереверко // Охорона праці. – 2010. – No 7. – С.22–26.
6. Савчук О.П. Життєзабезпечення здобувачів вищої освіти в умовах воєнного стану. *Сучасні стратегії сталого розвитку держави та суспільства: наукові горизонти та перспективи:* матеріали II наук.-практ. конф. за міжнар. участю, Хмельницький: ХНТУ, 2025. Том 2. С. 482-485 https://doi.org/10.5281/zenodo.15083674
7. Love L., Patten T., Hofmeister E. H., Schoenfeld-Tacher R. M., McLaughlin A. C. The Veterinary Student Survey on Patient Safety Culture (VSSPSC): A Quantitative and Qualitative Exploration of American Veterinary Students' Perceptions of Patient Safety Culture // Journal of Veterinary Medical Education. 2025. Vol. 52, No. 4. P. 552–559. DOI: 10.3138/jvme-2024-0038
8. Закон України «Про ветеринарну медицину» від 25.06.1992 № 2498-XII.
9. Закон України «Про освіту» від 05.09.2017 № 2145-VIII.
10. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
11. Міжнародні стандарти охорони праці у ветеринарії: практичний посібник із впровадження ISO 45001/ за ред. О. В. Мельника. - Київ: Аграрна наука, 2023.-112 с.
12. International Labour Organization. Safety and health at the heart of the future of work. – Geneva: ILO, 2021.

Olena Savchuk,
PhD in Education, Associate Professor, Department of Information Technologies,
Odesa State Agrarian University, Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-0749-6833
email: alenka.od.ua@gmail.com

INNOVATIVE APPROACHES TO THE FORMATION OF A SAFETY CULTURE AMONG APPLICANTS FOR HIGHER EDUCATION IN THE SPECIALTY "VETERINARY MEDICINE"

Abstract

The article examines modern approaches to the formation of a safety culture among future veterinary medicine specialists in the context of the transformation of the professional environment, digitalization of education, and the growing level of occupational risks. The study analyzes the peculiarities of professional training of higher education students taking into

account current challenges related to biological, psychophysiological, technogenic, and military threats. The main hazardous factors of veterinary professional activity are identified, including contact with biological materials, the risk of occupational infection, work with aggressive animals, emotional overload, lack of practical experience, and the necessity of decision-making in crisis situations.

Special attention is paid to insufficiently studied aspects of safety culture formation, particularly the development of students' psycho-emotional resilience, prevention of professional burnout, readiness for professional activity under emergency conditions, and ensuring safe professional behavior during martial law. The expediency of applying a risk-oriented approach, interactive educational technologies, practice-oriented teaching methods, case-study technology, situational modeling, and elements of crisis training in the professional education of future veterinary specialists is substantiated.

The article presents the results of an experimental study on the effectiveness of implementing innovative methods of safety culture formation among students majoring in H6 "Veterinary Medicine". It has been established that the integrated combination of practical training, psychological support, stress-resistance training, and elements of civil protection contributes to increasing the level of safety culture formation, developing a responsible attitude toward professional activity, and reducing the number of mistakes made during practical veterinary procedures.

Keywords: *safety culture, veterinary medicine, occupational safety, biosafety, occupational risks, civil protection, psycho-emotional resilience.*

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2025). On labor protection: Law of Ukraine No. 2694-XII of October 14, 1992 (as amended September 12, 2025). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text
2. State Statistics Service of Ukraine. (2026). Occupational injuries: Statistical data. https://www.ukrstat.gov.ua
3. Verkhovna Rada of Ukraine. (2021). On veterinary medicine and animal welfare: Law of Ukraine No. 1206-IX of February 4, 2021. https://zakon.rada.gov.ua
4. Hevryk, Y. O. (2022). Occupational safety in veterinary medicine. Mahnoliia.
5. Tereverko, O. (2010). Labor protection culture in ILO documents. Okhorona Pratsi, 7, 22–26.
6. Savchuk, O. P. (2025). Life support of higher education students under martial law. In Modern strategies for sustainable development of the state and society: Scientific horizons and prospects (Vol. 2, pp. 482–485). Khmelnytskyi National Technical University. https://doi.org/10.5281/zenodo.15083674
7. Love, L., Patten, T., Hofmeister, E. H., Schoenfeld-Tacher, R. M., & McLaughlin, A. C. (2025). *The Veterinary Student Survey on Patient Safety Culture (VSSPSC): A Quantitative and Qualitative Exploration of American Veterinary Students' Perceptions of Patient Safety Culture*. Journal of Veterinary Medical Education, 52(4), 552–559. https://doi.org/10.3138/jvme-2024-0038
8. Verkhovna Rada of Ukraine. (1992). On veterinary medicine: Law of Ukraine No. 2498-XII of June 25, 1992.
9. Verkhovna Rada of Ukraine. (2017). On education: Law of Ukraine No. 2145-VIII of September 5, 2017.
10. State Enterprise "Ukrainian Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality". (2019). DSTU ISO 45001:2019. Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use. UkrNDNC.
11. Melnyk, O. V. (Ed.). (2023). International occupational safety standards in veterinary medicine: Practical guide to ISO 45001 implementation. Ahrarna Nauka.

12. International Labour Organization. (2021). Safety and health at the heart of the future of work. ILO.

Стаття надійшла до редакції 19.07.2026
Стаття пройшла рецензування 19.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

UDC 619:616-089.5:616.7-089:636.7
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.12

Zeynep Nilufer Akcasiz,
PhD Research Asisst.
Department of Surgery,
Faculty of Veterinary Medicine,
Istanbul University-Cerrahpasa,
Istanbul, Türkiye.
ORCID: 0000-0003-4857-8891
e-mail: zeynep.akcasiz@iuc.edu.tr

Dilek Olgun Erdikmen,
Professor of Department of Surgery,
Faculty of Veterinary Medicine,
Istanbul University-Cerrahpasa,
Istanbul, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-8190-8429
e-mail: dilekolg@iuc.edu.tr

POSTOPERATIVE PAIN IN CANINE ORTHOPEDIC SURGERY: MECHANISMS, ASSESSMENT, AND FUTURE PERSPECTIVES

Abstract

Postoperative pain remains one of the most significant challenges in canine orthopedic surgery because of its complex pathophysiology and its profound effects on animal welfare, functional recovery, and long-term clinical outcomes. Orthopedic procedures involve extensive trauma to bone, periosteum, muscles, ligaments, tendons, and surrounding soft tissues, initiating a cascade of inflammatory and nociceptive events that may lead to peripheral and central sensitization if inadequately managed. Advances in pain neuroscience have transformed the understanding of postoperative pain from a simple consequence of tissue injury to a multidimensional process involving interactions among peripheral nociceptors, spinal nociceptive pathways, supraspinal modulation, neuroplasticity, and cognitive-emotional mechanisms.

These insights have provided the scientific foundation for contemporary multimodal analgesic strategies aimed not only at relieving pain but also at preventing pain chronification. Accurate pain assessment is fundamental to effective analgesic management but remains particularly challenging in veterinary medicine because animals cannot verbally communicate pain. Consequently, clinicians must integrate multiple complementary assessment methods.

This review summarizes current knowledge regarding the physiological mechanisms underlying postoperative pain following canine orthopedic surgery and critically discusses available pain assessment approaches, including behavioral evaluation, physiological indicators, validated composite pain scoring systems, and objective functional assessment techniques. Recent developments in force plate analysis, pressure-sensitive walkway systems, wearable accelerometers, infrared thermography, heart rate variability, pupillary pain assessment, and integrated nociception monitoring systems are also reviewed, highlighting their clinical applications, advantages, and current limitations.

Finally, the review discusses future perspectives, including molecular biomarkers, wearable technologies, and artificial intelligence-assisted pain recognition, which are expected to improve the objectivity and precision of postoperative pain assessment. Collectively, current evidence supports a multimodal approach integrating behavioral, physiological, functional, and emerging objective indicators to optimize postoperative analgesia, improve rehabilitation, and enhance the quality of life of dogs undergoing orthopedic surgery.

Keywords: *Canine orthopedic surgery, Postoperative pain, Pain assessment, Multimodal analgesia*

Introductıon. *1. Paın as a complex bıologıcal process.* Pain is one of the most common clinical manifestations encountered in both human and veterinary medicine and is a major determinant of patient welfare, recovery, and quality of life. The International Association for the Study of Pain (IASP) defines pain as “an unpleasant sensory and emotional experience associated with, or resembling that associated with, actual or potential tissue damage.” This definition emphasizes that pain is a multidimensional phenomenon involving sensory, emotional, cognitive, and behavioral components rather than merely a physiological response to tissue injury. Importantly, the IASP also recognizes that the inability to communicate verbally does not preclude the experience of pain or the need for appropriate analgesic intervention, a concept that is particularly relevant in veterinary medicine [1, 2].

Although the terms pain and nociception are frequently used interchangeably, they describe distinct biological processes. Nociception refers to the neural mechanisms responsible for detecting potentially harmful mechanical, thermal, or chemical stimuli and transmitting these signals from peripheral nociceptors to the spinal cord and higher centers of the central nervous system. Pain, however, is the conscious perception generated after integration of nociceptive information within cortical and subcortical brain regions and is strongly influenced by previous experiences, emotional state, and cognitive processing. Consequently, nociception may occur without pain perception, as during general anesthesia, whereas pain may persist in the absence of ongoing peripheral nociceptive input, as observed in phantom limb pain [3, 4].

Pain can be classified according to its underlying mechanism, duration, or anatomical origin. Mechanistically, nociceptive pain results from activation of intact nociceptors by noxious stimuli and serves a protective physiological role. Inflammatory pain develops following tissue injury and the release of inflammatory mediators that promote peripheral and central sensitization, whereas neuropathic pain arises from lesions or diseases affecting the somatosensory nervous system and is typically characterized by spontaneous pain, hyperalgesia, and allodynia [3, 4, 5, 6]. Clinically, pain is further categorized as acute or chronic according to its duration and as somatic or visceral according to its anatomical origin[7, 8].

These concepts provide the physiological basis for understanding postoperative pain associated with orthopedic surgery, which results from the combined activation of nociceptive and inflammatory pathways. If inadequately controlled, persistent

nociceptive input may induce maladaptive neuroplastic changes that contribute to pain chronification, highlighting the importance of effective perioperative analgesia.

1.2. Evolution of pain theories. The scientific understanding of pain has evolved from simple stimulus–response models to contemporary concepts recognizing pain as a multidimensional neurobiological experience. Early theories primarily sought to explain the origin and transmission of painful stimuli, whereas current models integrate peripheral nociceptive mechanisms with spinal modulation, supraspinal processing, neuroplasticity, and psychosocial influences.

The Specificity Theory proposed that pain is mediated by specialized receptors and dedicated neural pathways. According to this concept, nociceptive stimuli activate specific nociceptors whose signals are transmitted through distinct afferent fibers to higher centers of the central nervous system. Although this theory established the foundation of modern nociceptive physiology, it could not explain the influence of non-noxious stimuli or psychological factors on pain perception [9, 10].

In contrast, the Intensity Theory suggested that pain results from excessive activation of sensory pathways rather than specialized receptors. This concept, originally proposed by Plato and later expanded by Erasmus Darwin and Goldscheider, attributed pain perception to the temporal summation of intense sensory stimulation. However, the subsequent identification of specialized nociceptors by Sherrington substantially weakened this hypothesis [10, 11].

The Pattern Theory further emphasized the importance of central nervous system processing by proposing that pain depends on the spatial and temporal pattern of neural activity rather than activation of dedicated pain receptors. Although this theory could not fully explain nociceptive specificity, it highlighted the role of central integration in sensory perception and contributed to the development of more comprehensive models of pain processing [10, 12, 13, 14].

A major advance occurred with the introduction of the Gate Control Theory by Melzack and Wall in 1965. This theory proposed that nociceptive transmission is dynamically regulated within the dorsal horn of the spinal cord through interactions between large-diameter mechanoreceptive fibers, small-diameter nociceptive fibers, and descending supraspinal pathways. By explaining how cognitive, emotional, and environmental factors influence pain perception, the Gate Control Theory provided the neurophysiological basis for many modern analgesic strategies [10, 15].

Building on this concept, Melzack later proposed the Neuromatrix Theory, which fundamentally changed the understanding of pain by suggesting that pain is generated by a distributed neural network throughout the brain rather than representing a direct consequence of peripheral tissue injury alone. Inspired largely by observations of phantom limb pain, this theory introduced the concept of a unique "neurosignature" generated through interactions among sensory, cognitive, emotional, and genetic factors, thereby explaining why pain perception varies substantially between individuals and may persist even without peripheral nociceptive input [16, 17, 18].

Collectively, these theories illustrate the progressive transition from peripheral stimulus-based models toward a multidimensional framework in which pain is

recognized as a dynamic interaction between peripheral nociceptive input, spinal modulation, supraspinal processing, neuroplasticity, and psychological influences. This contemporary understanding provides the conceptual basis for multimodal analgesia in both human and veterinary medicine.

2. Pain mechanisms following orthopedic surgery. Orthopedic procedures are among the most painful surgical interventions performed in dogs because they involve extensive trauma to bone, periosteum, muscles, ligaments, tendons, synovial membranes, and surrounding soft tissues. Tissue injury immediately initiates an inflammatory cascade characterized by the release of prostaglandin E_2 (PGE_2), bradykinin, histamine, serotonin, adenosine triphosphate (ATP), hydrogen ions, nerve growth factor (NGF), and pro-inflammatory cytokines including tumor necrosis factor-α (TNF-α) and interleukin-1β (IL-1β). These mediators activate peripheral nociceptors, reduce their activation threshold, and amplify nociceptive signaling toward the central nervous system [19, 20, 21, 22, 23, 24].

Pain processing occurs through four interconnected stages: transduction, transmission, modulation, and perception. During transduction, noxious mechanical, thermal, or chemical stimuli are converted into electrical impulses within peripheral nociceptors. These impulses are transmitted via primary afferent neurons to the dorsal horn of the spinal cord, where neurotransmitters such as glutamate and neuropeptides activate second-order neurons. Ascending pathways, including the spinothalamic, spinoreticular, and spinomesencephalic tracts, subsequently relay nociceptive information to supraspinal centers. Throughout this process, descending inhibitory pathways involving endogenous opioids, serotonin, and norepinephrine continuously regulate nociceptive transmission before conscious pain perception occurs [4, 25, 26].

Pain perception is therefore not a passive consequence of peripheral tissue injury but the result of dynamic interactions between peripheral sensory neurons, spinal nociceptive circuits, and higher brain centers. Regions including the thalamus, somatosensory cortex, insular cortex, anterior cingulate cortex, amygdala, hippocampus, and prefrontal cortex integrate the sensory-discriminative, affective, cognitive, and autonomic dimensions of pain, while descending pathways originating from the periaqueductal gray and rostral ventromedial medulla further modulate spinal nociceptive transmission through endogenous opioid peptides and monoaminergic neurotransmitters [25,27, 28, 29].

Persistent nociceptive input following orthopedic surgery may promote peripheral and central sensitization, increasing pain intensity and contributing to the transition from acute to chronic pain. Consequently, contemporary perioperative analgesia aims not only to alleviate pain perception but also to interrupt these pathophysiological processes through multimodal analgesic strategies targeting multiple levels of the nociceptive pathway simultaneously.

3. Clinical significance of postoperative pain in canine orthopedic surgery. Pain serves as an essential physiological warning mechanism that protects the body from actual or potential tissue injury. In contrast, postoperative pain represents a pathological condition that requires prompt recognition and effective treatment. Acute

postoperative pain arises from surgical tissue trauma, the underlying disease process, or both, and initiates a complex cascade of neuroendocrine, inflammatory, and metabolic responses that may compromise patient welfare and delay recovery if inadequately controlled [30, 31].

In both human and veterinary medicine, inadequate postoperative analgesia is associated with numerous adverse consequences extending beyond patient discomfort. Uncontrolled pain contributes to impaired pulmonary function, thromboembolic complications, delayed wound healing, increased susceptibility to infection, prolonged hospitalization, reduced quality of life, and greater healthcare utilization [32, 33]. These consequences are particularly relevant following orthopedic procedures, where pain directly limits early weight-bearing, mobility, rehabilitation, and functional recovery. Delayed ambulation and prolonged hospitalization may ultimately compromise surgical outcomes and increase the need for additional analgesic interventions [32, 33].

An equally important concern is the transition from acute to chronic postoperative pain. Persistent postsurgical pain has been reported in approximately 10–50% of patients undergoing various surgical procedures, while 2–13% continue to experience pain for at least two years after surgery [32]. Although the mechanisms underlying this transition remain incompletely understood, accumulating evidence suggests that persistent nociceptive input promotes neuroplasticity, central sensitization, impaired descending inhibitory pathways, and long-term alterations within the pain neuromatrix, resulting in sustained pain perception even after tissue healing has occurred [16–18,32]. These findings emphasize that perioperative analgesia should aim not only to relieve immediate pain but also to minimize the risk of long-term maladaptive changes within the nervous system.

Despite substantial advances in perioperative pain management, effective postoperative analgesia remains a major clinical challenge. Human studies consistently identify postoperative pain as one of the greatest concerns expressed by patients before surgery, yet satisfactory pain relief is still not achieved in a considerable proportion of cases despite the availability of evidence-based guidelines [34, 44, 45, 46, 37]. Similar challenges exist in veterinary medicine, where the inability of animals to verbally communicate pain increases the reliance on careful clinical observation and objective pain assessment.

The severity of postoperative pain varies according to the type and extent of tissue injury. Orthopedic procedures-including fracture repair, limb amputation, spinal surgery, corrective osteotomies, and major joint surgery-are among the most painful interventions performed in veterinary medicine because they involve extensive manipulation of highly innervated osseous and periarticular tissues [38]. Consequently, procedure-specific analgesic protocols are recommended rather than uniform approaches to postoperative pain management.

Successful pain management depends on accurate and continuous pain assessment. The intensity of postoperative pain should be evaluated according to each patient's individual response rather than solely on the basis of surgical invasiveness.

Early recognition of pain, systematic monitoring, and timely analgesic intervention are therefore fundamental components of contemporary perioperative care and provide the basis for individualized multimodal analgesic strategies in canine orthopedic surgery.

4. Assessment of pain in veterinary medicine.

4.1. challenges of pain assessment in animals. Accurate pain assessment remains one of the greatest challenges in veterinary medicine because animals cannot verbally communicate the presence, location, or intensity of pain. Consequently, clinicians must rely on indirect indicators derived from behavioral observations, physiological responses, and clinical examination. Failure to recognize pain compromises animal welfare, delays appropriate analgesic intervention, prolongs recovery, increases postoperative complications, and may facilitate the transition from acute to chronic pain. Pain assessment should therefore be regarded as an essential component of perioperative patient monitoring rather than a separate clinical procedure [39, 40].

Pain expression varies considerably among individuals and is influenced by numerous factors, including species, breed, age, sex, temperament, previous painful experiences, concurrent disease, environmental conditions, and the nature of the surgical procedure. These variables complicate clinical interpretation and explain why no single parameter can reliably quantify pain intensity in veterinary patients [41].

The challenges of pain assessment are particularly evident following orthopedic surgery, where extensive trauma to bone, periosteum, muscles, ligaments, tendons, and joints is accompanied by postoperative inflammation, reduced mobility, anxiety, and residual anesthetic effects. As these factors frequently produce overlapping clinical manifestations, differentiating pain-related from non-pain-related behavioral changes may be difficult. Consequently, current guidelines recommend a multimodal approach that integrates behavioral assessment, physiological variables, validated pain scoring systems, functional evaluation, and, where available, objective biomarkers to provide the most comprehensive evaluation of postoperative pain [38, 41].

4.2.Pphysiological indicators of pain. Physiological variables have traditionally been used as supportive indicators of pain because nociceptive stimulation activates both the autonomic nervous system and the hypothalamic–pituitary–adrenal (HPA) axis. Surgical tissue injury induces a coordinated neuroendocrine stress response characterized by sympathetic activation and the release of multiple hormones and inflammatory mediators. These responses contribute to cardiovascular homeostasis during acute stress while simultaneously providing indirect evidence of nociceptive stimulation [40, 42, 43]

Among routinely monitored variables, heart rate, respiratory rate, and arterial blood pressure remain the most widely used physiological indicators during anesthesia and the immediate postoperative period. Acute nociceptive stimulation typically increases sympathetic activity, resulting in tachycardia, hyperventilation, elevated cardiac output, peripheral vasoconstriction, and transient increases in arterial blood pressure. In anesthetized patients, sudden elevations in these parameters may indicate inadequate analgesia and often guide supplemental analgesic administration [40].

However, the clinical interpretation of these variables requires considerable caution because they are influenced by numerous factors unrelated to pain, including fear, excitement, restraint, hypovolemia, hypoxemia, hypercapnia, body temperature, cardiovascular disease, anesthetic depth, and the administration of sedatives or vasoactive drugs. Consequently, cardiovascular and respiratory variables cannot be considered pain-specific indicators when interpreted in isolation [41,42].

Activation of the HPA axis constitutes another hallmark of the physiological response to painful stimuli. Surgical tissue injury stimulates hypothalamic secretion of corticotropin-releasing hormone (CRH), which induces adrenocorticotropic hormone (ACTH) release from the anterior pituitary and subsequently promotes cortisol secretion by the adrenal cortex. Because cortisol concentrations consistently increase following surgery, this hormone has been extensively investigated as an objective biomarker of postoperative pain [43,44]. Nevertheless, cortisol reflects the overall stress response rather than pain alone and is substantially influenced by transportation, hospitalization, handling, circadian rhythm, environmental stressors, and concurrent disease, limiting its specificity for pain assessment.

Similarly, circulating catecholamines, particularly epinephrine and norepinephrine, increase rapidly following sympathetic activation and contribute to tachycardia, hypertension, glycogenolysis, and peripheral vasoconstriction. Although these hormones have been proposed as objective indicators of nociceptive stimulation, their short plasma half-life and marked sensitivity to emotional and environmental stress considerably reduce their clinical applicability in routine practice [40, 42].

Additional stress-related biomarkers-including glucagon, growth hormone, antidiuretic hormone, glucose, lactate, and acute-phase proteins—also change following surgical trauma. However, these variables primarily reflect the magnitude of systemic stress and inflammation rather than nociceptive processing itself and are simultaneously influenced by trauma, infection, endocrine disorders, nutritional status, and anesthetic management [44, 45].

Overall, physiological indicators provide valuable information regarding autonomic and neuroendocrine responses during acute pain and remain indispensable components of perioperative monitoring. Nevertheless, increasing evidence demonstrates that they lack sufficient sensitivity and specificity to accurately quantify pain intensity when used alone. Current consensus therefore recommends interpreting physiological variables as supportive indicators that complement behavioral assessment, validated composite pain scales, functional evaluation, and emerging molecular biomarkers to achieve a more reliable assessment of postoperative pain in veterinary patients [40, 41, 43].

4.3. Behavıoral assessment of paın. Behavioral assessment remains the cornerstone of pain evaluation in veterinary medicine because behavioral alterations often represent the earliest and most reliable indicators of pain in animals. Unlike physiological variables, which may be influenced by stress, anesthetic drugs, or environmental conditions, behavioral changes more directly reflect the animal's

perception of discomfort. Consequently, systematic behavioral observation constitutes an essential component of postoperative pain assessment in dogs [39, 40]

Pain-related behaviors vary according to the severity and duration of pain, its underlying cause, and individual characteristics such as temperament, previous experiences, and breed. As no single behavioral sign is pathognomonic for pain, clinicians should evaluate multiple behavioral domains simultaneously rather than relying on isolated observations.

Alterations in posture and locomotion are among the earliest indicators of postoperative pain. Dogs commonly adopt protective or antalgic postures that minimize loading of painful tissues, including reluctance to stand, kyphotic positioning, abnormal sitting, prolonged immobility, and shifting body weight away from the affected limb. Following orthopedic procedures, these changes are frequently accompanied by guarding of the operated limb, reduced weight-bearing, shortened stride length, altered gait symmetry, reluctance to walk or climb stairs, and decreased willingness to change body position. Although gait abnormalities may also result from mechanical dysfunction, improvements following analgesic treatment often parallel reductions in pain, highlighting the clinical value of locomotor assessment [38].

Growing evidence supports the diagnostic value of facial expression analysis in canine pain assessment. Similar to humans, painful dogs may exhibit orbital tightening, partially closed eyes, altered ear position, tension of the muzzle, and changes in facial musculature. These observations have led to the development of canine grimace scales, which provide standardized approaches for evaluating pain through facial expression analysis. Although these tools continue to undergo validation, they represent promising adjuncts to conventional behavioral assessment [46, 47].

Changes in feeding and social behavior provide additional evidence of postoperative pain. Pain frequently suppresses appetite through interactions among inflammatory mediators, stress hormones, and central appetite-regulating pathways, resulting in reduced food intake, decreased water consumption, delayed return to normal feeding behavior, or reluctance to chew. Simultaneously, affected dogs may become withdrawn, avoid physical contact, exhibit reduced responsiveness to owners, or display irritability and aggression during handling or palpation. Conversely, some animals seek excessive attention or become unusually dependent on their caregivers. Because these responses vary according to individual temperament, behavioral changes should always be interpreted relative to the animal's normal behavior [41, 46].

Although vocalization is commonly regarded as an indicator of pain, its diagnostic value remains limited when considered alone. Whining, crying, barking, growling, or groaning may occur in response to pain but are equally associated with fear, anxiety, excitement, or separation distress. Likewise, many animals experiencing severe pain remain completely silent. Consequently, vocalization should always be interpreted in conjunction with other behavioral and clinical findings rather than as an independent measure of pain [40].

Despite their considerable clinical value, behavioral indicators remain inherently subjective and may be influenced by hospitalization, sedation, breed characteristics,

age, environmental factors, and observer experience. For this reason, current international guidelines recommend integrating behavioral observations with physiological variables, validated composite pain scales, objective functional assessment techniques, and emerging molecular biomarkers. Such a multimodal strategy provides the most reliable evaluation of postoperative pain and supports individualized analgesic management in canine orthopedic patients [38, 41].

4.4. Pain scoring systems. Validated pain scoring systems have become indispensable tools for standardized pain assessment in veterinary medicine because they reduce observer variability, improve clinical decision-making, and facilitate comparisons among studies evaluating analgesic efficacy [46,48,49].

Pain scoring systems are broadly classified as unidimensional or multidimensional. Unidimensional instruments-including the Visual Analogue Scale (VAS), Numerical Rating Scale (NRS), Simple Descriptive Scale (SDS), and Dynamic Interactive Visual Analogue Scale (DIVAS)-primarily estimate pain intensity through observer judgment. Although these scales are simple and rapid to apply, they remain susceptible to subjective interpretation and generally demonstrate lower sensitivity for detecting subtle changes in pain intensity [43, 50].

Multidimensional scales integrate behavioral observations with selected physiological responses, providing a more comprehensive evaluation of pain. These instruments typically assess posture, mobility, interaction, vocalization, response to palpation, mental status, and, in some cases, physiological variables such as heart rate and respiratory rate. By combining multiple indicators, multidimensional scales improve both the sensitivity and reliability of pain assessment and are therefore preferred for clinical decision-making [43, 50].

Among currently available instruments, the **Glasgow Composite Measure Pain Scale–Short Form (CMPS-SF)** is widely regarded as the gold standard for assessing acute postoperative pain in dogs. The scale evaluates six behavioral categories—posture, mobility, vocalization, attention to the wound, response to palpation, and overall demeanor—with a maximum score of 24. Rescue analgesia is generally recommended at scores of ≥6/24, making the CMPS-SF an invaluable tool for perioperative analgesic management [47].

Other validated multidimensional instruments include the **Melbourne Pain Scale**, which combines physiological and behavioral variables; the **Colorado State University Acute Pain Scale**, which emphasizes posture and behavioral responses in both dogs and cats; and the **UNESP-Botucatu Multidimensional Composite Pain Scale**, developed specifically for feline pain assessment [43, 50].

Although each scoring system possesses distinct strengths and limitations, all share the common objective of providing standardized, reproducible pain assessment that facilitates appropriate analgesic intervention and improves postoperative patient management.

4.5. Objective pain assessment techniques. Although behavioral assessment remains the foundation of pain evaluation in veterinary medicine, its subjective nature has stimulated the development of objective techniques capable of quantifying pain-

related functional impairment and nociceptive responses. These methods provide reproducible measurements that complement behavioral observations and validated pain scoring systems, particularly in orthopedic patients, where functional recovery is closely associated with postoperative pain control.

4.5.1. Force plate analysıs. Force plate analysis is considered the reference standard for objectively evaluating pain-related limb dysfunction in dogs. By measuring ground reaction forces generated during locomotion, this technique quantifies weight-bearing capacity and gait symmetry through variables such as peak vertical force (PVF) and vertical impulse (VI). Painful limbs typically exhibit reduced loading, and improvements in these parameters following analgesic treatment provide objective evidence of functional recovery. Consequently, force plate analysis is widely used in experimental orthopedic studies despite limitations associated with high equipment costs, specialized facilities, repeated measurements, and the requirement for standardized walking speed [51–53].

4.5.2. Pressure-sensıtıve walkway systems. Pressure-sensitive walkway systems provide a practical alternative to traditional force plates by simultaneously evaluating all four limbs during natural locomotion. These systems record paw placement, pressure distribution, stride length, stance time, swing time, and gait symmetry, allowing comprehensive assessment of locomotor function. Their ability to detect subtle gait abnormalities has made them increasingly valuable for monitoring postoperative orthopedic recovery, osteoarthritis progression, and responses to analgesic therapy. However, measurement accuracy remains dependent on standardized testing conditions, including walking speed, handler interaction, and patient cooperation [53].

4.5.3. Actıvıty monıtorıng usıng accelerometers. Wearable accelerometers have emerged as valuable tools for continuously monitoring spontaneous activity under home or hospital conditions. These devices quantify movement intensity, duration, frequency, and daily activity patterns over prolonged periods, providing information that cannot be obtained during brief clinical examinations. Following orthopedic surgery, dogs commonly demonstrate reduced mobility, decreased activity, and prolonged resting periods, making accelerometry a useful objective measure of functional recovery. Although activity patterns are influenced by age, temperament, environmental conditions, and owner-related factors, accelerometers have become increasingly important outcome measures in veterinary analgesic research [53].

4.5.4. Infrared thermography. Infrared thermography is a completely non-invasive imaging modality that detects infrared radiation emitted from body surfaces to generate thermal maps reflecting regional skin temperature. Because inflammation increases local blood flow through vasodilation, painful musculoskeletal tissues frequently exhibit elevated surface temperatures. Thermography has therefore been investigated for the assessment of postoperative inflammation, joint disease, soft tissue injury, and musculoskeletal disorders in dogs. Its principal advantages include rapid image acquisition, absence of ionizing radiation, and non-invasive application. However, image interpretation is influenced by environmental temperature, coat

characteristics, humidity, camera positioning, and patient movement, limiting its ability to directly quantify pain [54, 55].

4.5.5. Heart rate variability. Heart rate variability (HRV) provides indirect information regarding autonomic nervous system activity by quantifying beat-to-beat fluctuations in cardiac rhythm. Acute pain increases sympathetic tone while reducing parasympathetic activity, generally resulting in decreased HRV. Experimental studies have demonstrated associations between reduced HRV and nociceptive stimulation, suggesting its potential value as a non-invasive indicator of acute pain. Nevertheless, HRV is simultaneously affected by respiration, cardiovascular disease, body position, emotional stress, anesthetic depth, and pharmacological agents, limiting its specificity for routine clinical pain assessment [56, 57].

4.5.6. Pupillary pain index. Pain-induced sympathetic activation also produces measurable changes in pupil diameter. The Pupillary Pain Index (PPI) quantifies these responses following standardized noxious stimulation and has been proposed as a rapid, non-invasive method for assessing intraoperative nociception. Although initially developed for human anesthesia, interest in veterinary applications has increased in recent years. However, pupillary responses are influenced by ambient light, sedatives, opioids, anesthetic drugs, and ocular disease, and further validation is required before routine clinical implementation in veterinary patients [58].

4.5.7. Nociception monitoring systems. Advances in perioperative monitoring have led to the development of integrated nociception monitoring systems designed to estimate the balance between nociceptive stimulation and antinociceptive treatment during anesthesia. Technologies such as the Analgesia Nociception Index (ANI), Surgical Pleth Index (SPI), Nociception Level (NoL) Index, and Parasympathetic Tone Activity (PTA) Monitor combine physiological signals—including heart rate variability, photoplethysmography, skin conductance, and pulse wave amplitude-to generate composite indices of nociceptive activity [59, 60].

These systems have shown promising results in human anesthesia; however, their application in veterinary medicine remains limited by species-specific physiological differences, variations in anesthetic protocols, and the absence of validated reference values. Continued improvements in sensor technology, computational analysis, and machine-learning algorithms are expected to enhance their clinical applicability in veterinary anesthesia and analgesia [57].

4.6. Future perspectives and clinical integration. Objective assessment techniques provide quantitative information regarding locomotor function, autonomic regulation, tissue inflammation, and nociceptive processing, thereby complementing traditional behavioral assessment. Nevertheless, no currently available technique possesses sufficient sensitivity and specificity to independently quantify pain under all clinical conditions. Accordingly, contemporary evidence supports a multimodal assessment strategy integrating behavioral evaluation, validated composite pain scales, physiological variables, objective functional assessment techniques, and emerging molecular biomarkers. Such an integrated approach offers the most comprehensive

evaluation of postoperative pain and provides the strongest foundation for individualized analgesic management in dogs undergoing orthopedic surgery.

Conclusıon. Postoperative pain following canine orthopedic surgery remains a major clinical challenge because of its complex pathophysiology, multifactorial nature, and substantial impact on patient welfare and surgical outcomes. Current evidence demonstrates that postoperative pain extends beyond a simple consequence of tissue injury, involving intricate interactions among peripheral nociceptive activation, inflammatory processes, spinal modulation, supraspinal integration, and neuroplastic changes. If inadequately managed, these mechanisms may delay functional recovery, impair rehabilitation, and contribute to the development of persistent pain states.

Accurate pain assessment therefore represents a fundamental prerequisite for effective analgesic management. However, no single assessment method is capable of reliably reflecting pain intensity under all clinical circumstances. Behavioral observations remain the cornerstone of pain evaluation in veterinary medicine, while physiological variables, validated pain scoring systems, and objective functional assessment techniques provide complementary information that enhances clinical decision-making. Recent advances in objective monitoring technologies and the growing interest in molecular biomarkers further support the transition toward more comprehensive and individualized approaches to pain assessment.

The increasing understanding of pain neurobiology has also strengthened the rationale for multimodal analgesia, in which different pharmacological and non-pharmacological interventions target multiple components of the nociceptive pathway simultaneously. Such strategies not only improve postoperative comfort but may also reduce peripheral and central sensitization, thereby decreasing the risk of chronic pain development and facilitating earlier functional recovery after orthopedic procedures.

Future research should focus on validating objective pain assessment tools, identifying reliable and clinically applicable biomarkers, and integrating behavioral, physiological, functional, and molecular data into standardized multimodal assessment protocols. Advances in wearable technologies, artificial intelligence-assisted behavioral analysis, and biomarker discovery are expected to improve the accuracy of pain recognition and enable more personalized analgesic management in veterinary patients.

In conclusion, effective postoperative pain management in canine orthopedic surgery requires a multidimensional approach that integrates current knowledge of pain physiology with validated clinical assessment methods and emerging objective technologies. Continued progress in this field will not only improve animal welfare but also optimize surgical outcomes, rehabilitation, and long-term quality of life for canine patients.

References

1. Loeser, J. D., & Treede, R. D. (2008). The Kyoto protocol of IASP basic pain terminology. Pain, 137(3), 473–477. https://doi.org/10.1016/j.pain.2008.04.025
2. International Association for the Study of Pain. (2020). IASP terminology: Pain terms and definitions. https://www.iasp-pain.org

3. Chen, J. (Steven), Kandle, P. F., Murray, I. V., Fitzgerald, L. A., & Sehdev, J. S. (2025). Physiology, pain. StatPearls Publishing.
4. Julius, D., & Basbaum, A. I. (2001). Molecular mechanisms of nociception. Nature, 413(6852), 203–210. https://doi.org/10.1038/35093019
5. Treede, R. D., Jensen, T. S., Campbell, J. N., Cruccu, G., Dostrovsky, J. O., Griffin, J. W., Hansson, P., Hughes, R., Nurmikko, T., & Serra, J. (2008). Neuropathic pain. Neurology, 70(18), 1630–1635. https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000282763.29778.59
6. Haanpää, M. L., & Treede, R. D. (2010). Diagnosis and classification of neuropathic pain. Pain, 18(7), 1–6.
7. Abd-Elsayed, A., & Deer, T. R. (2019). Different types of pain. In A. Abd-Elsayed (Ed.), Pain (pp. 15–16). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99124-5_3
8. Yağcı, Ü., & Saygın, M. (2019). Ağrı fizyopatolojisi. SDÜ Tıp Fakültesi Dergisi, 26(2), 209–220. https://doi.org/10.17343/sdutfd.444237
9. Dubner, R., Sessle, B. J., & Storey, A. T. (1978). The neural basis of oral and facial function. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1682-5
10. Moayedi, M., & Davis, K. D. (2013). Theories of pain: From specificity to gate control. Journal of Neurophysiology, 109(1), 5–12. https://doi.org/10.1152/JN.00457.2012
11. Dallenbach, K. M. (1939). Pain: History and present status. American Journal of Psychology, 52(3), 331–??? https://doi.org/10.2307/1416740
12. Lele, P. P., Sinclair, D. C., & Weddell, G. (1954). The reaction time to touch. The Journal of Physiology, 123(1), 187–203. https://doi.org/10.1113/jphysiol.1954.sp005042
13. Sinclair, D. C. (1955). Cutaneous sensation and the doctrine of specific energy. Brain, 78(4), 584–614. https://doi.org/10.1093/brain/78.4.584
14. Weddell, G. (1955). Somesthesis and the chemical senses. Annual Review of Psychology, 6(1), 119–136. https://doi.org/10.1146/annurev.ps.06.020155.001003
15. Melzack, R., & Wall, P. D. (1965). Pain mechanisms: A new theory. Science, 150(3699), 971–979. https://doi.org/10.1126/science.150.3699.971
16. Melzack, R. (1999). From the gate to the neuromatrix. Pain, 82(Suppl 1), S121–S126. https://doi.org/10.1016/S0304-3959(99)00145-1
17. Melzack, R. (2001). Pain and the neuromatrix in the brain. Journal of Dental Education, 65(12), 1378–1382.
18. Melzack, R. (2005). Evolution of the neuromatrix theory of pain. Pain Practice, 5(2), 85–94. https://doi.org/10.1111/j.1533-2500.2005.05203.x
19. Basbaum, A. I., Bautista, D. M., Scherrer, G., & Julius, D. (2009). Cellular and molecular mechanisms of pain. Cell, 139(2), 267–284. https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.09.028
20. Gold, M. S., & Gebhart, G. F. (2010). Nociceptor sensitization in pain pathogenesis. Nature Medicine, 16(11), 1248–1257. https://doi.org/10.1038/nm.2235
21. Linley, J. E., Rose, K., Ooi, L., & Gamper, N. (2010). Understanding inflammatory pain: Ion channels contributing to acute and chronic nociception. Pflügers Archiv - European Journal of Physiology, 459(5), 657–669. https://doi.org/10.1007/s00424-010-0784-6
22. McMahon, S. B., Koltzenburg, M., Andjelkovic, N. (Eds.). (2005). Wall and Melzack's textbook of pain (5th ed., pp. 459–469). Churchill Livingstone (Elsevier Health Sciences). https://kclpure.kcl.ac.uk/portal/en/publications/wall-and-melzacks-textbook-of-pain-e-dition/
23. Mizumura, K., Sugiura, T., Katanosaka, K., Banik, R. K., & Kozaki, Y. (2009). Excitation and sensitization of nociceptors by bradykinin: What do we know? Experimental Brain Research, 196(1), 53–65. https://doi.org/10.1007/s00221-009-1814-5
24. Schaible, H. G., Ebersberger, A., & Natura, G. (2011). Update on peripheral mechanisms of pain: Beyond prostaglandins and cytokines. Arthritis Research & Therapy, 13(2), 210. https://doi.org/10.1186/ar3305

25. Apkarian, A. V., Bushnell, M. C., Treede, R. D., & Zubieta, J. (2005). Human brain mechanisms of pain perception and regulation in health and disease. European Journal of Pain, 9(4), 463–463. https://doi.org/10.1016/j.ejpain.2004.11.001
26. Woolf, C. J. (2011). Central sensitization: Implications for the diagnosis and treatment of pain. Pain, 152(3 Suppl), S2–S15. https://doi.org/10.1016/j.pain.2010.09.030
27. Basbaum, A. I., & Fields, H. L. (1984). Endogenous pain control systems: Brainstem spinal pathways and endorphin circuitry. Annual Review of Neuroscience, 7, 309–338. https://doi.org/10.1146/annurev.ne.07.030184.001521
28. Neugebauer, V. (2015). Amygdala pain mechanisms. In [Book title not fully specified in source] (pp. 261–284). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46450-2_13
29. Wiech, K., Ploner, M., & Tracey, I. (2008). Neurocognitive aspects of pain perception. Trends in Cognitive Sciences, 12(8), 306–313. https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.05.005
30. Thomas, M. A. (2003). Pain management – The challenge. Ochsner Journal, 5(2), 15–21. PMID: 22826679.
31. Small, C., & Laycock, H. (2020). Acute postoperative pain management. British Journal of Surgery, 107(2), e70–e80. https://doi.org/10.1002/bjs.11477
32. Meissner, W., Coluzzi, F., Fletcher, D., Huygen, F., Morlion, B., Neugebauer, E., Pérez, A. M., & Pergolizzi, J. (2015). Improving the management of post-operative acute pain: Priorities for change. Current Medical Research and Opinion, 31(11), 2131–2143. https://doi.org/10.1185/03007995.2015.1092122
33. Coccolini, F., et al. (2022). Postoperative pain management in non-traumatic emergency general surgery: WSES-GAIS-SIAARTI-AAST guidelines. World Journal of Emergency Surgery, 17(1), 50. https://doi.org/10.1186/s13017-022-00455-7
34. Apfelbaum, J. L., Chen, C., Mehta, S. S., & Gan, T. J. (2003). Postoperative pain experience: Results from a national survey suggest postoperative pain continues to be under-managed. Anesthesia & Analgesia, 97(2), 534–540. https://doi.org/10.1213/01.ANE.0000068822.10113.9E
35. Sommer, M., de Rijke, J. M., van Kleef, M., et al. (2008). The prevalence of postoperative pain in a sample of 1490 surgical inpatients. European Journal of Anaesthesiology, 25(4), 267–274. https://doi.org/10.1017/S0265021507003031
36. American Society of Anesthesiologists. (2012). Practice guidelines for acute pain management in the perioperative setting. Anesthesiology, 116(2), 248–273. https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31823c1030
37. Wu, C. L., & Raja, S. N. (2011). Treatment of acute postoperative pain. The Lancet, 377(9784), 2215–2225. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60245-6
38. Monteiro, B. P., et al. (2023). 2022 WSAVA guidelines for the recognition, assessment and treatment of pain. Journal of Small Animal Practice, 64(4), 177–254. https://doi.org/10.1111/jsap.13566
39. Molony, V., & Kent, J. E. (1997). Assessment of acute pain in farm animals using behavioral and physiological measurements. Journal of Animal Science, 75(1), 266. https://doi.org/10.2527/1997.751266x
40. Hellyer, P., Rodan, I., Brunt, J., et al. (2007). AAHA/AAFP pain management guidelines for dogs & cats. Journal of the American Animal Hospital Association, 43(5), 235–248. https://doi.org/10.5326/0430235
41. Epstein, M. E., et al. (2015). 2015 AAHA/AAFP pain management guidelines for dogs and cats. Journal of Feline Medicine and Surgery, 17(3), 251–272. https://doi.org/10.1177/1098612X15572062
42. Cambridge, A. J., Tobias, K. M., Newberry, R. C., & Sarkar, D. K. (2000). Subjective and objective measurements of postoperative pain in cats. Journal of the American Veterinary Medical Association, 217(5), 685–690. https://doi.org/10.2460/javma.2000.217.685

43. Hernandez-Avalos, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., et al. (2019). Review of different methods used for clinical recognition and assessment of pain in dogs and cats. International Journal of Veterinary Science and Medicine, 7(1), 43–54. https://doi.org/10.1080/23144599.2019.1680044
44. Muir, W. W., & Hubbell, J. A. E. (2012). Handbook of veterinary anesthesia (5th ed.). Elsevier Health Sciences.
45. Desborough, J. P. (2000). The stress response to trauma and surgery. British Journal of Anaesthesia, 85(1), 109–117. https://doi.org/10.1093/bja/85.1.109
46. Reid, J., Nolan, A. M., & Scott, E. M. (2018). Measuring pain in dogs and cats using structured behavioural observation. The Veterinary Journal, 236, 72–79. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.04.004
47. Reid, J., Nolan, A., Hughes, J., Lascelles, D., Pawson, P., & Scott, E. (2007). Development of the short-form Glasgow Composite Measure Pain Scale (CMPS-SF) and derivation of an analgesic intervention score. Animal Welfare, 16(S1), 97–104. https://doi.org/10.1017/S096272860003178X
48. Chang, P. C., & Yeh, C. H. (2005). Agreement between child self-report and parent proxy-report to evaluate quality of life in children with cancer. Psycho-Oncology, 14(2), 125–134. https://doi.org/10.1002/pon.828
49. Sharkey, M. (2013). The challenges of assessing osteoarthritis and postoperative pain in dogs. AAPS Journal, 15(2), 598–607. https://doi.org/10.1208/s12248-013-9467-5
50. Brondani, J. T., Luna, S. P. L., & Padovani, C. R. (2011). Refinement and initial validation of a multidimensional composite scale for use in assessing acute postoperative pain in cats. American Journal of Veterinary Research, 72(2), 174–183. https://doi.org/10.2460/ajvr.72.2.174
51. Quinn, M. M., Keuler, N. S., Lu, Y., Faria, M. L. E., Muir, P., & Markel, M. D. (2007). Evaluation of agreement between numerical rating scales, visual analogue scoring scales, and force plate gait analysis in dogs. Veterinary Surgery, 36(4), 360–367. https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2007.00276.x
52. Oosterlinck, M., Bosmans, T., Gasthuys, F., Polis, I., Van Ryssen, B., Dewulf, J., & Pille, F. (2011). Accuracy of pressure plate kinetic asymmetry indices and their correlation with visual gait assessment scores in lame and nonlame dogs. American Journal of Veterinary Research, 72(6), 820–825. https://doi.org/10.2460/ajvr.72.6.820
53. Millis, D. L., & Levine, D. (2014). Canine rehabilitation and physical therapy. Elsevier/Saunders.
54. Turner, T. A. (2001). Diagnostic thermography. Veterinary Clinics of North America: Equine Practice, 17(1), 95–114. https://doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30077-9
55. Soroko, M., & Howell, K. (2018). Infrared thermography: Current applications in equine medicine. Journal of Equine Veterinary Science, 60, 90–96.e2. https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.11.002
56. von Borell, E., Langbein, J., Després, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchant, J., Marchant-Forde, R., Minero, M., Mohr, E., Prunier, A., Valance, D., & Veissier, I. (2007). Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals—a review. Physiology & Behavior, 92(3), 293–316. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.01.007
57. Ledowski, T. (2019). Objective monitoring of nociception: A review of current commercial solutions. British Journal of Anaesthesia, 123(2), e312–e321. https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.03.024
58. Larson, M. D., & Behrends, M. (2015). Portable infrared pupillometry. Anesthesia & Analgesia, 120(6), 1242–1253. https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000000314
59. De Jonckheere, J., Bonhomme, V., Jeanne, M., Boselli, E., Gruenewald, M., Logier, R., & Richebé, P. (2015). Physiological signal processing for individualized anti-nociception management during general anesthesia: A review. Yearbook of Medical Informatics, 24(1), 95–101. https://doi.org/10.15265/IY-2015-004

60. Gruenewald, M., & Ilies, C. (2013). Monitoring the nociception–anti-nociception balance. Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology, 27(2), 235–247. https://doi.org/10.1016/j.bpa.2013.06.007

ПІСЛЯОПЕРАЦІЙНИЙ БІЛЬ В ОРТОПЕДИЧНІЙ ХІРУРГІЇ СОБАК: МЕХАНІЗМИ, ОЦІНЮВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Анотація

Післяопераційний біль залишається однією з найактуальніших проблем ортопедичної хірургії собак через складну патофізіологію та значний вплив на добробут тварин, відновлення функцій і довготривалі клінічні результати. Ортопедичні втручання супроводжуються значним ушкодженням кісток, окістя, м'язів, зв'язок, сухожилків та навколишніх м'яких тканин, що запускає каскад запальних і ноцицептивних процесів. За неналежного лікування вони можуть призвести до периферичної та центральної сенсибілізації. Досягнення нейробіології болю змінили уявлення про післяопераційний біль: від простого наслідку ушкодження тканин до багатовимірного процесу, що охоплює взаємодію периферичних ноцицепторів, ноцицептивних шляхів спинного мозку, супраспінальної модуляції, нейропластичності та когнітивно-емоційних механізмів.

Ці знання стали науковим підґрунтям сучасних мультимодальних стратегій знеболювання, спрямованих не лише на полегшення болю, а й на запобігання його хронізації. Точне оцінювання болю є необхідною умовою ефективного знеболювання, проте у ветеринарній медицині воно особливо складне, оскільки тварини не можуть вербально повідомити про свій біль. Тому клініцисти мають поєднувати кілька взаємодоповнювальних методів оцінювання.

В огляді узагальнено сучасні знання про фізіологічні механізми післяопераційного болю у собак після ортопедичних операцій і критично проаналізовано наявні підходи до його оцінювання, зокрема поведінкову оцінку, фізіологічні показники, валідовані комплексні шкали болю та методи об'єктивної функціональної оцінки. Також розглянуто нові можливості, які надають силові платформи, тензометричні доріжки для ходьби, носимі акселерометри, інфрачервона термографія, варіабельність серцевого ритму, пупілометрія та інтегровані системи моніторингу ноцицепції, з акцентом на їхньому клінічному застосуванні, перевагах і сучасних обмеженнях.

Наприкінці обговорено перспективи подальших досліджень, зокрема молекулярні біомаркери, носимі технології та розпізнавання болю за допомогою штучного інтелекту, які, як очікується, підвищать об'єктивність і точність оцінювання післяопераційного болю. Загалом сучасні дані свідчать на користь мультимодального підходу, що поєднує поведінкові, фізіологічні, функціональні та новітні об'єктивні показники, для оптимізації післяопераційної аналгезії, поліпшення реабілітації та підвищення якості життя собак після ортопедичних операцій.

Ключові слова: *ортопедична хірургія собак, післяопераційний біль, оцінювання болю, мультимодальна аналгезія*

Стаття надійшла до редакції 15.07.2026
Стаття пройшла рецензування 17.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

UDC 619:616.853-085:636.7
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.13

Ayşe Zeynep ATAŞ,
Department of Internal Medicine,
Faculty of Veterinary Medicine,
Istanbul University-Cerrahpaşa,
Istanbul, Türkiye
ORCID: 0009-0001-6659-3721
e-mail:ermanor@iuc.edu.tr

Mehmet Erman Or,
Professor, Doctor of the Department
of Internal Medicine,
Faculty of Veterinary Medicine,
İstanbul University-Cerrahpaşa
Istanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0002-8764-1956
e-mail:ermanor@iuc.edu.tr

THERAPEUTIC APPROACHES TO EPILEPTIC SEIZURES AND STATUS EPILEPTICUS IN DOGS

Abstract

Epilepsy is the most common neurological disorder in dogs. Status epilepticus (SE) is a serious and life-threatening neurological emergency in veterinary medicine, defined as sustained seizure activity or multiple consecutive seizures lasting longer than 30 minutes without complete recovery of consciousness in between. In some cases, SE becomes refractory to conventional treatment protocols and may result in severe outcomes, including death. This review aims to comprehensively evaluate both pharmacological and non-pharmacological treatment approaches used in the management of epileptic seizures and refractory status epilepticus in veterinary and human medicine. The objective is to provide current evidence-based information on effective seizure control, prevention of complications, and improvement of survival rates.

Keywords: *status epilepticus, dog, treatment*

Introductıon. Dogs may experience sudden and short-lasting seizure activity. Status epilepticus is defined as continuous or recurrent seizure activity without full recovery of consciousness between episodes, lasting longer than 30 minutes, according to the International League Against Epilepsy (ILAE) and the American Epilepsy Society (AES) [1]. SE represents a critical clinical condition associated with high morbidity and mortality rates [2], with patients presenting with status epilepticus exhibiting a mortality rate ranging from 25.3% to 38.5% [1]. Regardless of etiology, any patient experiencing seizure activity may develop SE [3].

The frequency and severity of SE-associated complications are directly proportional to the duration of seizure activity; therefore, immediate termination of ongoing seizures is the primary therapeutic goal, followed by management of the underlying cause and associated complications [2, 4]. These complications broadly include primary and secondary permanent brain damage, hyperthermia, acidosis, disseminated intravascular coagulation, renal failure, and cardiovascular dysfunction [5, 6]. Experimental studies in rodents have demonstrated a direct relationship between seizure duration and the degree of neuronal injury, morbidity, and mortality [7].

Successful treatment of SE requires identification and management of the underlying etiology. Treatment protocols are determined according to the stage of the seizure; during ongoing seizure activity, treatment aims to terminate the seizure, whereas after seizure control, therapy is directed toward preventing recurrence [2]. In animals presenting with status epilepticus, therapeutic management is guided by the response to treatment and involves the sequential implementation of first-line, second-line, and third-line interventions, as well as alternative or non-conventional treatment approaches when indicated. (Table 1). In some animals, seizures may become resistant to standard antiepileptic drugs, and antiepileptic drug resistance represents a major obstacle to successful SE management [3]. Electroencephalography (EEG) represents a useful diagnostic and monitoring tool in the evaluation and management of drug-resistant epilepsy (Figure 1) [8].

Impending status epilepticus (stage 1) lasts 5-10 minutes and is generally recommended to be treated with first-line agents.

When seizure activity persists for 10-30 minutes, the patient is considered to be in established status epilepticus (stage 2). In this stage, first-line agents, non-anesthetic antiepileptic drugs, and/or general anesthetics may be used, although responsiveness to first-line therapy is reduced.

If seizures continue formore than 30 minutes the patient is classified as being in refractory status epilepticus (stage 3), and general anesthetic agents are required to suppress seizure activity. At this stage, the patient is resistant to first-line and non-anesthetic antiepileptic therapies [1, 4].

When seizure activity persists for more than 24 hours, the condition is classified as super-refractory status epilepticus (stage 4), and patients are typically resistant to all therapeutic agents [1, 2, 4, 9].

Non-pharmacological approaches include vagus nerve stimulation, deep brain stimulation, and transcranial magnetic stimulation. Modulation of neuronal activity through neurostimulation techniques is a rapidly evolving field, particularly in the treatment of drug-resistant epilepsy [10]. This review aims to examine current therapeutic strategies used to control seizures, prevent complications, and improve survival in epileptic seizures and refractory status epilepticus.

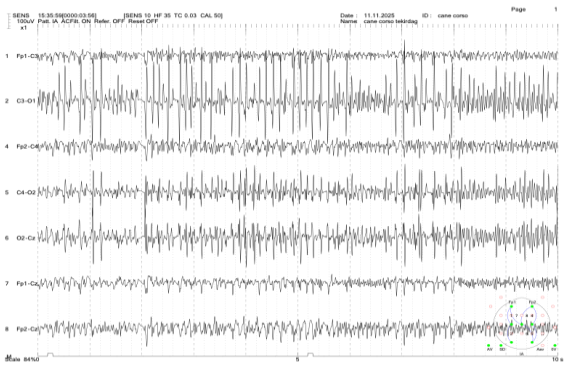
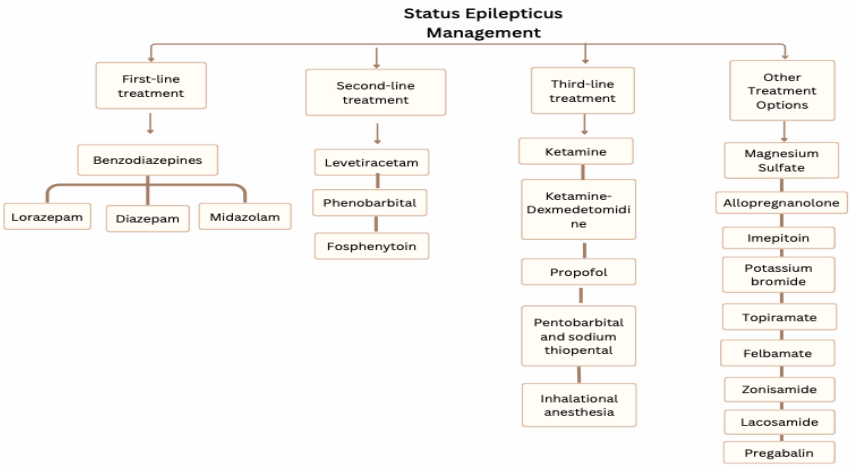


Figure 1. Electroencephalographic image demonstrating generalized seizure activity involving all channels in a 4-year-old Cane Corso dog with drug-resistant epilepsy.

Table 1. Pharmacological management of status epilepticus, including first, second and third-line and non-conventional options.



1. Pharmacologıcal treatment methods.

1.1. Fırst-lıne therapy. In the initial management of seizures, bolus administration of benzodiazepines (BZDs) should be performed promptly. If seizures recur, a second bolus is administered, followed by a third bolus if necessary. If seizure activity persists, continuous rate infusion of benzodiazepines should be initiated, and second-line agents should be administered if seizures continue [1]. In veterinary medicine, midazolam, diazepam, and lorazepam are the most commonly used benzodiazepines [4].

1.1.1. Benzodıazepınes. Benzodiazepines are widely used as first-line agents in the treatment of status epilepticus in both humans and dogs [10]. Benzodiazepines increase the effects of the neurotransmitter GABA by binding to $GABA_A$ receptors [9, 11].

Midazolam has fewer adverse effects compared to other agents and is considered safe and reliable. It can be administered intranasally (IN), intravenously (IV), or intramuscularly (IM) at a dose of 0.2–0.5 mg/kg). Intranasal administration can be life-saving when IV access is not available. Studies in dogs have demonstrated that the IN

route is as effective and safe as IV administration and may even be superior in certain clinical settings [2, 10]. The drug has a half-life of 1 hour; therefore, frequent dosing or a constant-rate infusion may be required for seizure control [4].

Diazepam is administered as a bolus at a dose of 0.5–2.0 mg/kg IV, IN, or rectally ®. Repeated bolus administration may result in central nervous system depression and cardiorespiratory collapse. Therefore, diazepam boluses should be limited to 2–3 doses, followed by continuous rate infusion if necessary [4].

Lorazepam is more commonly used in human medicine, with limited studies in dogs. In canine studies, a dose of 0.2 mg/kg IV has been used [12]. Lorazepam binds more tightly to GABA receptors than diazepam, resulting in a longer duration of action [13].

1.2. Second-lıne therapy. Second-line treatment options include levetiracetam, barbiturates, and fosphenytoin [12].

1.2.1. Levetıracetam. Levetiracetam exerts its effect by binding to synaptic vesicle protein 2A (SV2A), modulating neurotransmitter release. In status epilepticus, it can be administered at a dose of 20–60 mg/kg via IV, IM, PO, or R routes. One study demonstrated that rectal administration of levetiracetam at 40 mg/kg achieved minimum therapeutic plasma concentrations [12].

1.2.2. Phenobarbıtal. Phenobarbital exerts antiepileptic effects by enhancing the function of $GABA_A$ receptors and through its NMDA-antagonistic activity [11]. Distribution to the central nervous system (CNS) may take 20–30 minutes, potentially delaying onset of action. Phenobarbital may be administered IV at a total dose of 16–20 mg/kg, divided into three doses given every 30 minutes. Parenteral administration, particularly in patients previously treated with benzodiazepines, may cause significant hypotension and cardiorespiratory depression. Long-term use may result in sedation, ataxia, polydipsia, polyuria, hepatotoxicity, neutropenia, dyskinesia, thrombocytopenia, decreased T4 and fT4 levels, and superficial necrolytic dermatitis [1, 13].

1.2.3. Fosphenytoın. Fosphenytoin may be administered as an IV bolus in addition to other agents during status epilepticus [1]. Fosphenytoin exerts its effect by blocking voltage-gated sodium channels and suppressing high-frequency action potential discharges. Limited studies in dogs have reported successful treatment of SE with IV administration at a dose of 15 mg/kg. Adverse effects include cardiac arrhythmias and hypotension [14, 15].

1.3. Thırd-lıne therapy. Anesthetic agents are used in cases of status epilepticus refractory to other treatments. Commonly used agents in veterinary medicine include ketamine, propofol, pentobarbital, sodium thiopental, and inhalational anesthetics [1].

1.3.1. Ketamıne. Ketamine acts as an NMDA receptor antagonist [6, 11]. It may be administered as a 5 mg/kg IV bolus, followed by a continuous infusion at 5 mg/kg/hour. Adverse effects include nystagmus, increased muscle tone, tachycardia, and hypersalivation [1, 16].

1.3.2. Ketamıne–dexmedetomıdıne. When ketamine alone is insufficient to suppress seizures, dexmedetomidine may be added [1]. Dexmedetomidine reduces

sympathetic activity and norepinephrine release, thereby decreasing excitatory neurotransmitter levels. Additionally, its cerebral vasoconstrictive effects may help prevent cerebral edema. In three dogs diagnosed with idiopathic epilepsy, treatment with benzodiazepines and propofol administered for 12 hours was insufficient to terminate the seizures. In these cases, which progressed to refractory status epilepticus, ketamine was administered intravenously at a dose of 1 mg/kg over 5 minutes, followed by an IV bolus of dexmedetomidine at 3 μg/kg. Thereafter, continuous rate infusions were maintained for 12 hours with ketamine at 1 mg/kg/hour and dexmedetomidine at 3–7 μg/kg/hour. During treatment, body temperature was maintained at a mild hypothermic range (36.7–37.7 °C). No seizures were observed during the 48-hour follow-up period after discontinuation of therapy [1, 17].

1.3.3. Propofol. Propofol enhances $GABA_A$ receptor activity and modulates NMDA receptors via sodium and calcium channels [1]. In dogs, it may be administered as a 1–2 mg/kg IV bolus, followed by continuous infusion up to 6 mg/kg/hour [1, 16]. Propofol infusion syndrome (PRIS) is a serious complication associated with prolonged high-dose infusions and may result in metabolic acidosis, hyperkalemia, bradyarrhythmias, myocardial depression and rhabdomyolysis [11, 18].

1.3.4. Pentobarbital and sodium thiopental. Anesthetic barbiturates act on $GABA_A$ receptors and provide neuroprotective effects by reducing intracellular sodium and calcium, glutamate release, and cerebral oxygen consumption, while scavenging free oxygen radical [10]. They are administered at doses of 3–15 mg/kg IV, with caution to avoid overdose. Adverse effects include CNS and cardiorespiratory depression [1, 13].

1.3.5. Inhalational anesthesia. Inhalational anesthetics act on $GABA_A$ receptors, reduce thalamic neuronal excitability, neurotransmitter release, and cerebral oxygen consumption, while increasing cerebral blood flow [1, 6].

1.4. Other treatment options.

1.4.1. Magnesium sulfate. Magnesium inhibits NMDA receptors and calcium channels and increases cerebral blood flow through vasodilation. It has been shown to be effective in hypomagnesemia-associated seizures and eclampsia in humans (Shorvon and Ferlisi, 2011). A canine case report suggests potential benefits of IV magnesium in SE, although adverse effects include CNS depression, cardiorespiratory depression, and hypotension [1, 19].

1.4.2. Allopregnanolone. Allopregnanolone is a neurosteroid acting on synaptic and extrasynaptic GABA receptors. It has been shown to terminate SE in rodent models and may represent an effective treatment for benzodiazepine-resistant SE in dogs [1, 20, 21].

1.4.3. Imepitoin. Imepitoin enhances GABA activities and weakly blocks calcium channels. It is a potent anticonvulsant and anxiolytic for dogs. Although recommended for dogs with recurrent generalized seizures, its efficacy in canine SE has not yet been established. The recommended dosage is 10–30 mg/kg twice daily [22, 23].

1.4.4. Potassıum bromıde. Potassium bromide has a synergistic effect with phenobarbital and is not metabolized by the liver, making it suitable for dogs with hepatic disease. It is administered at 20 mg/kg BID as monotherapy or 15 mg/kg BID when used in combination therapy [23].

1.4.5. Topıramate. Topiramate is a second-generation, broad-spectrum antiepileptic drug that inhibits voltage-gated sodium channels and enhances GABAA activity. Topiramate is used in humans for the treatment of both focal and generalized seizures, either as monotherapy or in combination with other antiepileptic drugs. Studies in dogs have demonstrated that IV doses of 10 and 20 mg/kg are safe and well tolerated [23, 24].

1.4.6. Felbamate. Felbamate inhibits NMDA receptor activity, enhances GABA activity, and has neuroprotective properties. In one study, felbamate treatment was administered to six dogs with a history of seizures lasting longer than six months and cluster seizures, at a dose of 15–20 mg/kg: two dogs received the drug every 8 hours and four dogs every 12 hours. Seizure frequency was evaluated using a short-term follow-up of 3 months and a long-term follow-up of 6 months. Although conducted in a small number of animals, this study demonstrated that felbamate may be used as an adjunctive therapy in patients with idiopathic epilepsy [25]. During felbamate treatment, routine complete blood count and biochemical analyses should be performed. As the drug is metabolized by the liver, it should not be used in patients with hepatic insufficiency [23, 26]. Felbamate may cause mild blood dyscrasias and keratoconjunctivitis sicca [27].

1.4.7. Zonısamıde. Zonisamide is a sulfonamide-based drug that blocks voltage-dependent sodium channels and inhibits T-type calcium channels [28, 29, 30]. In dogs, it is administered orally at 5–10 mg/kg every 12 hours [22]. In a study conducted on dogs with idiopathic epilepsy, the addition of zonisamide to phenobarbital and potassium bromide therapy resulted in a 58% reduction in seizure frequency [31].

1.4.8. Etomıdate. Etomidate is a $GABA_A$ agonist anesthetic agent used in refractory SE in humans. It reduces cerebral oxygen consumption and intracranial pressure and may be administered at 1–2 mg/kg IV followed by continuous infusion at 0.5–2 mg/kg/hour. It has less respiratory and central nervous system depression and fewer cardiovascular side effects compared to propofol and barbiturates [13, 32].

1.4.9. Lacosamıde. Lacosamide exerts its effect by selectively enhancing the slow inactivation of voltage-gated sodium channels, thereby stabilizing hyperexcitable neuronal membranes and inhibiting neuronal firing [33]. It is also a drug that can be used in the treatment of neuropathic pain and chronic inflammatory pain. An initial dose of 50–100 mg every 12 hours is recommended. Lacosamide may be administered as an adjunctive therapy when other antiseizure medications have failed [28].

1.4.10. Pregabalın. It is a second-generation GABA analogue, similar to gabapentin, with antiepileptic, analgesic, and anxiolytic effects. Because its half-life and bioavailability are higher than those of gabapentin, its antiseizure efficacy is greater [28]. In a study conducted in 11 dogs, combination therapy with phenobarbital, potassium bromide, and pregabalin resulted in a reduction in seizure frequency in 9

dogs. Reported adverse effects in dogs included sedation, ataxia, and dizziness [34]. In dogs, a dose of 4 mg/kg PO every 8 hours is recommended [28].

2. Non-pharmacologıcal treatment methods.

2.1. Neurostımulatıon technıques. Vagus nerve stimulation, deep brain stimulation, and transcranial magnetic stimulation are emerging therapeutic modalities in veterinary medicine. While pharmacological approaches remain the cornerstone of treatment, neurostimulation techniques represent promising alternatives for drug-resistant epilepsy, despite challenges related to cost, technical complexity, and expertise requirements [19].

2.1.1. Vagus nerve stımulatıon. Vagus nerve stimulation (VNS) is a technique that can be applied either by exerting pressure on the orbit or by implanting a device that delivers electrical stimulation [28]. VNS stimulates the release of neurotransmitters, which in turn promotes the release of GABA, thereby increasing the seizure threshold of neurons [19]. In humans treated with VNS, reductions in seizure frequency, seizure duration, and ictal period have been reported [35]. VNS has also been shown to reduce seizure frequency in some dogs with idiopathic drug-resistant epilepsy [36]. In dogs, the electrodes are wrapped around the left vagosympathetic trunk [19]. Reported post-implantation complications associated with VNS include seroma formation at the implantation site, coughing, and muscle twitching [37, 38].

In dogs, ocular compression performed by applying pulsatile compression to the orbit for 10–60 seconds every 5 minutes has been shown to reduce seizure severity and duration as a non-invasive VNS technique [39].

2.1.2. Deep braın stımulatıon. Deep brain stimulation (DBS) is a neurostimulation technique in which a device is implanted bilaterally into the centromedian nucleus of the thalamus [40]. In a study conducted at the University of Melbourne, deep brain stimulation devices were successfully implanted in dogs [41]. In another study, DBS therapy was applied to a 4-year-old mixed-breed dog with drug-resistant epilepsy, and a reduction in seizure severity was observed following stimulation; however, to adequately assess its outcomes in veterinary medicine, DBS needs to be evaluated in a larger number of animals [40].

2.1.3. Transcranıal magnetıc stımulatıon. Repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS**)** is a noninvasive, extracranial technique that modulates cortical excitability by using sequences of magnetic stimuli generated by a coil placed over the cranial region [37]. A rapidly changing magnetic field is used to induce weak electrical currents in the brain, leading to neuronal depolarization and the generation of action potentials. rTMS can be used to measure cortical excitability and to evaluate the efficacy of antiepileptic drugs [42]. The frequency and stimulation parameters of rTMS are key determinants of its effects. Low-frequency stimulation has anticonvulsant effects, whereas high-frequency stimulation may be proconvulsant [38, 43].

In dogs, TMS is primarily used as a diagnostic tool to assess the integrity of the motor cortex and spinal cord. In a study involving nine dogs with refractory epilepsy, a short-term improvement in interictal interval was observed following TMS compared

with the pre-treatment period. Overall, six of the nine epileptic dogs exhibited a reduction in seizure frequency after TMS, and an increase in the number of seizure-free days was reported [37, 42].

*2.2. Hypothermıa***.** Hypothermia reduces brain activity and ATP consumption, and decreases glutamate release, free radical production, oxidative stress, mitochondrial dysfunction, and calcium overload. It inhibits cellular apoptosis by promoting the release of neurotrophic factors. Hypothermia also reduces inflammation and decreases the permeability of the blood–brain barrier [2, 44, 45]. During status SE, the application of hypothermia prevents neuronal loss and reduces both the duration and frequency of seizures [46]. Studies support the anticonvulsant and neuroprotective effects of hypothermia [44, 47].

2.3. Electroconvulsıve therapy. Electroconvulsive therapy (ECT) operates via transcutaneous electrical stimulation of the cerebral cortex and is used in the treatment of refractory psychiatric disorders by inducing a seizure-like episode. The exact mechanism of action of ECT, including its effectiveness in terminating SE, is not fully understood. ECT is thought to induce post-treatment alterations in neurotransmitter levels, with increased GABA activity mediating inhibition of action potential propagation. In human studies, ECT has been reported to achieve a success rate of 59% in 27 patients with SE [48, 49, 50].

Conclusıon. SE is a common emergency in dogs with complex pathophysiology and is difficult to manage. Traditionally, SE is controlled using first-line therapy, second-line therapy, and anesthetic agents. However, the management of seizures that develop resistance to current treatments has become a challenge for veterinarians. Therefore, it is necessary to investigate new treatment modalities in terms of their efficacy, adverse effects, and their ability to suppress or reduce seizure frequency. Medical management can be particularly difficult to implement for animals with persistent and drug-resistant epilepsy and for their owners. Studies have shown that non-medical treatment options may also be feasible and effective. Nevertheless, there is a need to evaluate treatment efficacy in larger patient populations.

References

1. Charalambous, M., Muñana, K., Patterson, E. E., Platt, S. R., & Volk, H. A. (2024). ACVIM consensus statement on the management of status epilepticus and cluster seizures in dogs and cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine, 38*(1), 19–40. https://doi.org/10.1111/jvim.16928
2. Shorvon, S., & Ferlisi, M. (2011). The treatment of super-refractory status epilepticus. *Brain, 134*(Pt 10), 2802–2818. https://doi.org/10.1093/brain/awr215
3. Charalambous, M., Bhatti, S. F. M., Volk, H. A., & Platt, S. (2022). Defining and overcoming the therapeutic obstacles in canine refractory status epilepticus. *Veterinary Journal, 283–284*, 105828. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2022.105828
4. Charalambous, M., Volk, H. A., Van Ham, L., & Bhatti, S. F. M. (2021). First-line management of canine status epilepticus at home and in hospital. *BMC Veterinary Research, 17*(1), 103. https://doi.org/10.1186/s12917-021-02805-0
5. Charalambous, M., Bhatti, S. F. M., Van Ham, L., Platt, S., Jeffery, N. D., Tipold, A., et al. (2017). Intranasal midazolam versus rectal diazepam for the management of canine status epilepticus. *Journal of Veterinary Internal Medicine, 31*(4), 1149–1158. https://doi.org/10.1111/jvim.14734

6. Kirmani, B. F., Au, K., Ayari, L., John, M., Shetty, P., & Delorenzo, R. J. (2021). Super-refractory status epilepticus. *Aging and Disease, 12*(4), 1097–1119. https://doi.org/10.14336/AD.2021.0302
7. Cheng, J. Y. (2016). Latency to treatment of status epilepticus is associated with mortality and functional status. *Journal of the Neurological Sciences, 370*, 290–295. https://doi.org/10.1016/j.jns.2016.10.004
8. Luca, J., McCarthy, S., Parmentier, T., Hazenfratz, M., Zur Linden, A., Gaitero, L., & James, F. M. K. (2023). Survey of electroencephalography usage and techniques for dogs. *Frontiers in Veterinary Science, 10*, 1198134. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1198134
9. Rogawski, M. A., Loya, C. M., Reddy, K., Zolkowska, D., & Lossin, C. (2013). Neuroactive steroids in status epilepticus. *Epilepsia, 54*(Suppl 6), 93–98. https://doi.org/10.1111/epi.12289
10. Charalambous, M., Volk, H. A., Tipold, A., Erath, J., Huenerfauth, E., Gallucci, A., et al. (2019). Comparison of intranasal versus intravenous midazolam for management of status epilepticus in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine, 33*(6), 2709–2717. https://doi.org/10.1111/jvim.15627
11. Yıldırım, K. A., & Sünter, G. (2016). Refractory status epilepticus. *Türkiye Klinikleri Journal of Neurology, 9*(3), 102–107.
12. Naeser, J., Lichtenberger, M., Mariani, C. L., Thamm, D. H. M., & Kirby, R. (2004). Clinical comparison of lorazepam versus diazepam in dogs.
13. Blades Golubovic, S., & Rossmeisl, J. H., Jr. (2017). Status epilepticus in dogs and cats, part 2: Treatment, monitoring, and prognosis. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care, 27*(3), 288–300. https://doi.org/10.1111/vec.12604
14. Patterson, E. E., Leppik, I. E., Coles, L. D., Podell, M., Vite, C. H., Bush, W., & Cloyd, J. C. (2015). Fosphenytoin in canine status epilepticus. *Epilepsia, 56*(6), 882–887. https://doi.org/10.1111/epi.12994
15. Popławska, M., Borowicz, K. K., & Czuczwar, S. J. (2015). Fosphenytoin safety and efficacy. *Expert Review of Neurotherapeutics, 15*(9), 983–992. https://doi.org/10.1586/14737175.2015.1074523
16. Can, P., Pirpanahi, E., & Beşaltı, Ö. (2018). Neurological emergencies. In E. Elma (Ed.), *Emergency applications in small animal practice* (pp. 53–59). Türkiye Klinikleri.
17. Gioeni, D., Di Cesare, F., D'Urso, E. S., Rabbogliatti, V., & Ravasio, G. (2020). Ketamine–dexmedetomidine and hypothermia in super-refractory status epilepticus in dogs. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care, 30*(4), 455–460. https://doi.org/10.1111/vec.12956
18. Çelebi, H., Candan, N., & Günaydın, D. (2007). Propofol infusion syndrome. *Anestezi Dergisi, 15*(2), 73–80.
19. Nowakowska, M., Üçal, M., Charalambous, M., Bhatti, S. F. M., Denison, T., Meller, S., et al. (2022). Neurostimulation in canine drug-resistant epilepsy. *Frontiers in Veterinary Science, 9*, 889561. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.889561
20. Vuu, I., Patterson, E. E., Wu, C. Y., Zolkowska, D., Leppik, I. E., Rogawski, M. A., et al. (2022). Allopregnanolone for status epilepticus in dogs. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics, 380*(2), 104–113. https://doi.org/10.1124/jpet.121.000736
21. Bruun, D. A., Ma, B., Chen, Y. J., Wu, C. Y., Aleman, M., Zolkowska, D., Smiley-Jewell, S. M., Rogawski, M. A., & Lein, P. J. (2023). Tolerability and pharmacokinetics of intravenous allopregnanolone with and without midazolam pretreatment in two healthy dogs. *Epilepsia Open, 8*(2), 666–672. https://doi.org/10.1002/epi4.12723
22. Tipold, A., Keefe, T. J., Löscher, W., Rundfeldt, C., & de Vries, F. (2015). Imepitoin versus phenobarbital. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics, 38*(2), 160–168. https://doi.org/10.1111/jvp.12151
23. Bhatti, S. F. M., De Risio, L., Muñana, K., Penderis, J., Stein, V. M., Tipold, A., Berendt, M., Farquhar, R. G., Fischer, A., Long, S., Löscher, W., Mandigers, P. J., Matiasek, K., Pakozdy, A.,

Patterson, E. E., Platt, S., Podell, M., Potschka, H., Rusbridge, C., & Volk, H. A. (2015). International veterinary epilepsy task force consensus proposal: Medical treatment of canine epilepsy in Europe. *BMC Veterinary Research, 11*, 176. https://doi.org/10.1186/s12917-015-0464-z
24. Vuu, I., Coles, L. D., Maglalang, P., Leppik, I. E., Worrell, G., Crepeau, D., et al. (2016). Intravenous topiramate in dogs. *Frontiers in Veterinary Science, 3*, 107. https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00107
25. Dewey, C. W., Rishniw, M., & Sakovitch, K. (2022). Felbamate as an oral add-on therapy in six dogs. *Open Veterinary Journal, 12*(4), 445–450. https://doi.org/10.5455/OVJ.2022.v12.i4.5
26. Pellock, J. M., Faught, E., Leppik, I. E., Shinnar, S., & Zupanc, M. L. (2006). Felbamate: Consensus of experience. *Epilepsy Research, 71*(2–3), 89–101. https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2006.06.020
27. Ruehlmann, D., Podell, M., & March, P. (2001). Felbamate for partial seizures in dogs. *Journal of Small Animal Practice, 42*(8), 403–408. https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2001.tb02490.x
28. Sanders, S. (2015). *Seizures in dogs and cats*. Spi Publisher Services.
29. Leppik, I. E. (2004). Zonisamide: Chemistry and pharmacokinetics. *Seizure, 13*(Suppl 1), S5–S9. https://doi.org/10.1016/j.seizure.2004.04.016
30. Biton, V. (2007). Clinical pharmacology and mechanism of action of zonisamide. *Clinical Neuropharmacology, 30*(4), 230–240. https://doi.org/10.1097/wnf.0b013e3180413d7d
31. Dewey, C. W., Guiliano, R., Booth, D. M., et al. (2004). Zonisamide therapy for refractory idiopathic epilepsy in dogs. *Journal of the American Animal Hospital Association, 40*(4), 285–291. https://doi.org/10.5326/0400285
32. Evans, R. H., & Hill, R. G. (1978). GABA-mimetic action of etomidate. *Experientia, 34*(10), 1325–1327. https://doi.org/10.1007/BF01981448
33. Doty, P., Hebert, D., Mathy, F. X., Byrnes, W., Zackheim, J., & Simontacchi, K. (2013). Development of lacosamide for partial-onset seizures. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1291*, 56–68. https://doi.org/10.1111/nyas.12213
34. Dewey, C. W., Cerda-Gonzalez, S., Levine, J. M., Badgley, B. L., Ducoté, J. M., Silver, G. M., et al. (2009). Pregabalin as an adjunct therapy in dogs with suspected idiopathic epilepsy. *Journal of the American Veterinary Medical Association, 235*(12), 1442–1449. https://doi.org/10.2460/javma.235.12.1442
35. Yang, J., & Phi, J. H. (2019). The present and future of vagus nerve stimulation. *Journal of Korean Neurosurgical Society, 62*(3), 344–352. https://doi.org/10.3340/jkns.2019.0037
36. Muñana, K. R., Vitek, S. M., Tarver, W. B., Saito, M., Skeen, T. M., Sharp, N. J., et al. (2002). Use of vagal nerve stimulation in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association, 221*(7), 977–983. https://doi.org/10.2460/javma.2002.221.977
37. Martlé, V., Peremans, K., Raedt, R., Vermeire, S., Vonck, K., Boon, P., Van Ham, L., Tshamala, M., et al. (2014). Brain perfusion changes during vagus nerve stimulation in dogs. *Epilepsy Research, 108*(4), 616–622. https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2014.02.004
38. Martlé, V., Van Ham, L. M., Boon, P., Caemaert, J., Tshamala, M., Vonck, K., et al. (2016). Vagus nerve stimulator placement in dogs. *Veterinary Surgery, 45*(1), 71–78. https://doi.org/10.1111/vsu.12427
39. Speciale, J., & Stahlbrodt, J. E. (1999). Ocular compression-induced vagal stimulation in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association, 214*(5), 663–665.
40. Zamora, M., Meller, S., Kajin, F., Sermon, J. J., Toth, R., Benjaber, M., et al. (2021). Digital chronotherapy in canine status epilepticus. *Frontiers in Neuroscience, 15*, 734265. https://doi.org/10.3389/fnins.2021.734265
41. Long, S., Frey, S., Freestone, D. R., LeChevoir, M., Stypulkowski, P., Giftakis, J., & Cook, M. (2014). Placement of deep brain electrodes in the dog. *Journal of Veterinary Internal Medicine, 28*(1), 189–197. https://doi.org/10.1111/jvim.12235

42. Poma, R., Parent, J. M., Monteith, G., & Stiebert, V. M. (2005). Transcranial magnetic stimulation in epileptic dogs. *Epilepsia, 46*, 333–334.
43. Sun, W., Mao, W., Meng, X., Wang, D., Qiao, L., Tao, W., et al. (2012). Low-frequency rTMS in refractory epilepsy. *Epilepsia, 53*(10), 1782–1789. https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2012.03626.x
44. Rossetti, A. O. (2012). Hypothermia in refractory status epilepticus. *Critical Care, 16*(Suppl 2), A26. https://doi.org/10.1186/cc11284
45. Yarım, G., & Kazak, F. (2015). Brain-derived neurotrophic factor. *Atatürk University Veterinary Sciences Journal, 10*(2), 120–129.
46. Bayrlee, A., Ganeshalingam, N., Kurczewski, L., & Brophy, G. M. (2015). Treatment of super-refractory status epilepticus. *Current Neurology and Neuroscience Reports, 15*(10), 66. https://doi.org/10.1007/s11910-015-0589-2
47. Legriel, S. (2019). Hypothermia as a treatment in status epilepticus. *Epilepsy & Behavior, 101*(Pt B), 106298. https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2019.04.051
48. Zeiler, F. A., Matuszczak, M., Teitelbaum, J., Gillman, L. M., & Kazina, C. J. (2016). Electroconvulsive therapy for refractory status epilepticus. *Seizure, 35*, 23–32. https://doi.org/10.1016/j.seizure.2015.12.015
49. Trinka, E., & Brigo, F. (2019). Neurostimulation in refractory status epilepticus. *Epilepsy & Behavior, 101*(Pt B), 106551. https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2019.106551
50. Ahmed, J., Metrick, M., Gilbert, A., Glasson, A., Singh, R., Ambrous, W., Brown, L., Aykroyd, L., & Bobel, K. (2018). Electroconvulsive therapy for super refractory status epilepticus. *Journal of ECT, 34*(1), e5–e9. https://doi.org/10.1097/YCT.0000000000000450

Айше Зейнеп АТАШ
кафедра внутрішніх хвороб,
факультет ветеринарної медицини,
Стамбульський університет «Джеррахпаша»,
м. Стамбул, Туреччина
ORCID: 0009-0001-6659-3721

Мехмет Ерман Ор,
доктор ветеринарних наук,
професор кафедри внутрішніх хвороб,
факультет ветеринарної медицини,
Стамбульський університет «Джеррахпаша»,
м. Стамбул, Туреччина
ORCID: 0000-0002-8764-1956
E-mail: ermanor@iuc.edu.tr

ТЕРАПЕВТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ЛІКУВАННЯ ЕПІЛЕПТИЧНИХ НАПАДІВ ТА ЕПІЛЕПТИЧНОГО СТАТУСУ У СОБАК

Анотація

Епілепсія є найпоширенішим неврологічним захворюванням у собак. Епілептичний статус (status epilepticus, SE) – це тяжкий, потенційно загрозливий для життя невідкладний неврологічний стан у ветеринарній медицині, що характеризується безперервною судомною активністю або серією послідовних епілептичних нападів тривалістю понад 30 хвилин без повного відновлення свідомості між ними. У частини пацієнтів епілептичний статус набуває рефрактерного перебігу, не відповідає на стандартні протисудомні схеми лікування та може призводити до розвитку тяжких ускладнень, включаючи летальний наслідок. Метою цього

огляду є комплексний аналіз сучасних фармакологічних і нефармакологічних підходів до лікування епілептичних нападів та рефрактерного епілептичного статусу, що застосовуються у ветеринарній і гуманній медицині. Особливу увагу приділено сучасним доказовим даним щодо ефективного контролю судомної активності, профілактики ускладнень, підвищення виживаності пацієнтів та покращення результатів лікування.

Стаття надійшла до редакції 12.07.2026
Стаття пройшла рецензування 09.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

УДК 619:616.12-008.46-091:636.8
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.14

Марина Скрипка,
доктор ветеринарних наук, професор,
професор кафедри нормальної і патологічної морфології, фізіології та судової ветеринарії
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна
ORCID ID: 0000-0003-2982-2537
email: marina.skripka.70@ukr.net

Ігор Панікар, доктор ветеринарних наук, професор,
завідувач кафедри інфекційної патології, біобезпеки та ветеринарно-санітарного інспектування ім. проф. В.Я. Атамася
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна
ORCID ID: 0000-0002-4695-9079
email: panikari@osau.edu.ua

Надія Дмитренко,
кандидат ветеринарних наук, доцент,
завідувач кафедри терапії імені професора П.І. Локеса
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна
ORCID ID: 0000-0001-5336-2361
email: nadiia.dmytrenko@pdau.edu.ua

Костянтин Супруненко, кандидат ветеринарних наук, доцент,
доцент кафедри терапії імені професора П.І. Локеса
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна
ORCID ID: 0000-0003-4715-0738
email: kostiantyn.suprunenko@pdau.edu.ua

СИСТЕМНІ ПРОЯВИ ЗАСТІЙНОГО КАРДІОГЕННОГО СИНДРОМУ У КОТІВ: КЛІНІКО-АНАТОМІЧНИЙ АНАЛІЗ

Анотація

У статті представлено комплексний клініко-анатомічний аналіз та патоморфологічне документування випадку хронічної бівентрикулярної серцевої недостатності у домашньої кішки, що розвинулася внаслідок первинної кардіоміопатії. Методом патологоанатомічного розтину та макроморфометрії зафіксовано ланцюг змін від концентричної гіпертрофії міокарда лівого шлуночка до тотального венозного стазу у малому та великому колах кровообігу. Аналізуючи анамнез, клінічну картину та результати проведеного в подальшому патологоанатомічного розтину, найімовірнішим діагнозом є гіпертрофічна кардіоміопатія. Адже більшість котів з ГКМП можуть мати безсимптомний перебіг протягом тривалого часу. Тривале порушення кровопостачання міокарда

потовщеного лівого шлуночка призводить до поступового пошкодження та загибелі кардіоміоцитів. Візит до ветеринарної клініки та проведені маніпуляції, стали тригером для запуску стресової реакції, різкого підвищення метаболічних потреб організму, а серцева недостатність не дозволила тварині впоратися із збільшеним навантаженням. Гострий стрес призвів до сильної тахікардії, та подальшого погіршення діастолічної функції і гострої лівошлуночкової серцевої недостатності. Стінка гіпертрофованого шлуночка втрачає фізіологічну властивість розслаблення в повній мірі в стадію діастоли, що призводить до підвищення діастолічного тиску в лівому шлуночку та лівому передсерді. Вище зазначені процеси призвели до зростання тиску в легеневих венах і капілярах та їх розширення з розвитком набряку легень та утворенням плеврального випоту. Верифіковано вторинну легеневу гіпертензію з двократною ектазією легеневого стовбура (8–10 мм), застійну мускатну гепатомегалію, виражену спленомегалію (15,5 см) та застійну гастроентеропатію з явищами псевдомеланозу. Встановлено, що безпосередньою причиною смерті став гострий альвеолярний набряк легень та термінальна асфіксія.

Ключові слова: *кішка домашня, гіпертрофічна кардіоміопатія, cor pulmonale, мускатна печінка, спленомегалія, псевдомеланоз, набряк легень.*

Вступ. Серцево-судинні патології посідають одне з провідних місць у структурі незаразної захворюваності та смертності домашніх котів (Felidae). Як зазначають Kittleson & Côté (2021), серед первинних уражень міокарда найбільш поширеною та клінічно значущою нозологічною формою є гіпертрофічна кардіоміопатія (ГКМП), яка реєструється як у породистих тварин, так і у метисів. Приблизно у 10 % дорослих котів реєструється субклінічне захворювання середнього або тяжкого ступеня, що поступово призводить до розвитку ускладнень, наприклад застійної серцевої недостатності або кардіогенної аортальної тромбоемболії, Rishniw, M. (2024). Кардіоміопатія або «дистрес міокарда» відомі у трьох фізіопатологічних типах: гіпертрофічна кардіоміопатія (ГКМП), рестриктивна кардіоміопатія (РКМП) та дилатаційна кардіоміопатія (ДКМП) [9, 13, 20]. Крім того, суттєво впливають на автономну регуляцію серцево-судинної системи стресові ситуації, в т.ч. психоемоційгий стрес. Активація гіпоталамо-гіпофізарно-наднирникової осі супроводжується підвищенням рівня катехоламінів, насамперед адреналіну, що спричиняє вазоконстрикцію, зростання судинного опору та навантаження на серце. За високих концентрацій адреналін також чинить аритмогенний ефект, що може сприяти розвитку ушкоджень міокарда, М. Скрипка, Ю. Бойко, та ін. (2023) [24].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поширеність гіпертрофічної кардіоміопатії у деяких порід котів свідчить про те, що це може бути спадкове захворювання. Мутації виявляють в послідовностях генів, що кодують саркомерні білки. У котів було виявлено дві мутації в міозинзв'язуючому білку С (MYBPC3) які можуть бути причинами ГКМП. Наразі в MYBPC3 ідентифіковано дві окремі однонуклеотидні заміни, мутації A31P та R820W, виявлені у мейн-кунів та регдолів. Існує висока імовірність наявності подібної мутації і в інших порід котів: бенгальська, британська короткошерста, норвезький лісовий кіт, сибірський лісовий кіт, перський кіт, шотландський висловухий кіт та сфінкс [11, 13, 15, 17]. Проте мутації в генах A31P та R820W не є єдиною причиною розвитку

ГКМП. Для виявлення додаткових причин даного захворювання у котів необхідні дослідження додаткових кардіологічних генів, K.M. Meurs et al. (2009). Порушення синтезу білка внаслідок генетичної мутації призводить до дефекту саркомера в кардіоміоцитах, що веде до гіпертрофії, зміни кровопостачання серцевого м'яза, ішемії та фіброзу [17].

Причиною розвитку вторинної (компенсаторної) гіпертрофії найчастіше може бути гіпертиреоз, хронічний гіпертензивний нефрит, багатоплідна вагітність, водянка плодових оболонок, емфізема легень, пневмонія, плеврит, гідроторакс чи пневмоторакс в тварин із недостатнім серцевим резервом [20].

Патогенетичною основою ГКМП виступає концентрична гіпертрофія міокарда лівого шлуночка, що призводить до прогресуючого зниження об'єму його порожнини та вираженої діастолічної дисфункції, Côté & Kittleson (2021), є основною причиною застійної серцево-судинної недостатності, 11, 15, 17]. Наслідком порушення діастолічного розслаблення стає ретроградне перевантаження об'ємом і тиском лівих відділів серця, що макроскопічно маніфестує критичною дилатацією передсердь та їхніх вушок, Luis Fuentes et al. (2022). У котів найпоширенішою формою кардіоміопатії є рестриктивна. Вона характеризується ригідністю лівого шлуночка внаслідок надмірного утворення колагену (рубцевої тканини), що призводить до розширення порожнини лівого передсердя та набряку легень, плеврального випоту, лівошлуночкової серцевої недостатності [3]. У міру прогресування лівошлуночкової недостатності підвищений гідростатичний тиск поширюється на легеневі вени, викликаючи хронічний пасивний застій крові у малому колі кровообігу [5]. За даними досліджень Menciotti et al. (2025), тривала інтракапілярна гіпертензія індукує процеси судинного ремоделювання, що призводить до стійкої легеневої гіпертензії. Це макроморфологічно проявляється вираженою ектазією головного стовбура легеневої артерії, діаметр якого може значно перевищує анатомічну норму [22]. Підвищення опору у легеневому судинному руслі створює вторинне перевантаження для виносного тракту правих відділів серця, зумовлюючи розвиток легеневого серця (cor pulmonale) із компенсаторною дилятацією правого шлуночка [8].

Формування тотальної бівентрикулярної серцевої недостатності неминуче супроводжується лавиноподібним ретроградним стазом у системі каудальної порожнистої та ворітної вен [23]. Даний гемодинамічний зсув викликає глибокі патоморфологічні зміни в органах-мішенях великого кола кровообігу, насамперед у портальній системі, провокуючи розвиток венозної гіперемії печінки, застійного гепатозу, вираженої застійної спленомегалії та помірного асциту [8]. Поряд із вісцеральним застоєм, як довели Seo & Chang (2023), хронічна гіпоксія та порушення мікроциркуляції у стінках шлунково-кишкового тракту створюють передумови для ускладнення кардіогенного синдрому застійною гастроентеропатією, яка супроводжується катаральним запаленням, регіонарним лімфаденітом та явищами псевдомеланозу слизових оболонок.

Одним з ускладнень гіпертрофічної кардіоміопатії є ризик утворення

тромбів, які можуть потрапити до головного мозку та спричинити інсульт. Також можуть виникнути проблеми з клапанами: мітральний клапан не закривається належним чином, це призводить до зворотного закиду крові в ліве передсердя. В деяких випадках гіпертрофічна кардіоміопатія може спричинити раптову смерть, яка іноді стає єдиним проявом цього захворювання [20].

У котів діагностика ГКМП викликає певні труднощі внаслідок високої поширеності субклінічної («прихованої») кардіоміопатії, безсимптомного перебігу та тенденції до раптового початку і тяжких перших клінічних ознак [3].

Дослідження серцевого поштовху при первинній гіпертрофії показує його виражений вібраційний характер, тони серця чіткі та виразні, в деяких випадках прослуховується розщеплення першого тону серця. При вторинній гіпертрофії посилений серцевий поштовх з відчутними вібраціями, один із тонів серця може бути ослабленим, прослуховується діастолічний або систолічний шум внаслідок стенозу або недостатності клапанів, реєструється розщеплення другого тону серця, що проявляється ритмом «галопу», збільшується зона серцевої тупості, яка може поширюватися на правий бік грудної клітки. Пульсова хвиля при первинній гіпертрофії характеризується помірною амплітудою, високою напругою та швидкістю. При вторинній формі характеристики пульсової хвилі варіюють [20].

Для діагностики ГКМП наразі застосовують ультразвукове дослідження та ехокардіографічні вимірювання товщини стінки лівого шлуночка та міжшлуночкової перегородки. Двовимірна (2D) трансторакальна ехокардіографія вважається клінічним неінвазивним золотим стандартом для діагностики гіпертрофічної кардіоміопатії у котів. Проте існує проблема диференціації ступеню захворювання, оскільки межа похибки невелика. Для окремої тварини це зазвичай не є проблемою, оскільки легка ГКМП характеризується порівняно хорошим довгостроковим прогнозом, але для племінного розведення наслідки можуть бути серйозними [7, 9, 17]. Поздовжню систолічну функцію серця можна оцінити досліджуючи кільцеподібне зміщення тканинного руху (TMAD). Загальна TMAD не залежить від породи, статі, віку та частоти серцевих скорочень. Зниження TMAD в групі з ГКМП порівняно з контрольною групою свідчить про поздовжню систолічну дисфункцію лівого шлуночка [6].

Одним з поширених простих і доступних тестів є вимірювання серцевих біомаркерів. Враховуючи той факт, що серед ветеринарних кардіологів відсутня єдина думка щодо того, як найкраще оцінювати тяжкість кардіоміопатії у котів, вимірювання N-кінцевого про-B-натрій уретичного пептиду (NTproBNP) та серцевого тропоніну I (cTnI) часто стає основним у прийнятті клінічних рішень [3, 17]. Тропонін зв'язує актин та міозин і бере участь у скороченні міоцитів. При захворюваннях пов'язаних з порушенням цілісності клітинної мембрани міоцита відбувається підвищення концентрації тропоніну в сироватці крові. NT-proBNP патофізіологічно інтегрований у реакцію організму на об'ємне перевантаження організму і на «стрес» міоцитів. Збільшення концентрації NT-proBNP дозволяє

диференціювати респіраторні симптоми серцевого або несерцевого походження, Neumann, S., & Siegert, S. (2024).

Попри значні успіхи сучасної ветеринарної кардіології, прижиттєва діагностика початкових та субклінічних стадій кардіоміопатій у котів залишається ускладненою через тривалий безсимптомний перебіг, що нерідко призводить до раптової смерті тварин від гострої венозної гіперемії та набряку легень [5, 14].

Метою наших досліджень було проведення комплексного аналізу системних патоморфологічних змін, детальне вивчення вісцеральних маркерів портального стазу та встановлення покрокового ланцюга танатогенезу під час патологоанатомічного розтину, які мають вирішальне науково-практичне значення для верифікації кардіогенних синдромів та вдосконалення диференційної діагностики патологій дрібних домашніх тварин.

Матеріал і методи дослідження. Об'єкт дослідження – труп домашньої кішки, що раптово загинула з клінічними ознаками гострого респіраторного дистрес-синдрому. Патологоанатомічний розтин виконували за методом повної евісцерації (методом Шора) в умовах секційного залу. Під час розтину проводили покрокову фотофіксацію органів *in situ* та після їхнього ізолювання. Для об'єктивізації ступеня судинних та органопатологічних змін застосовували метод макроморфометрії за допомогою верифікованої металевої міліметрової лінійки. Оцінці підлягали лінійні параметри головного стовбура легеневої артерії, нирок та селезінки. Стан паренхіми легеневої тканини верифікували методом діагностичного компресійного тесту (натискання на поверхню свіжого зрізу часток). Стан шлунково-кишкового та сечовидільного трактів оцінювали шляхом поздовжнього розсікання органів та ревізії їхніх слизових оболонок. Краніотомію виконували за допомогою кісткових кусачок із подальшим вилученням головного мозку разом із м'якою мозковою оболонкою для макроструктурного аналізу.

Результати та їх обговорення. Кішка надійшла в клініку ветеринарної медицини для проведення планової вакцинації. При первинному огляді було проведено загальне клінічне обстеження тварини. Оцінювали стан видимих слизових оболонок, конфігурацію грудної клітки, кількість дихальних рухів за хвилину та їх глибину, ритмічність і силу пульсової хвилі, швидкість наповнення капілярів. Всі клінічні показники знаходилися у фізіологічних межах. Патологічних серцевих шумів чи аритмії під час аускультації не було виявлено. Проте у кішки раптово з’явилися та почали наростати ознаки гострої серцево-судинної недостатності. Незважаючи на проведення інтенсивної терапії та реанімаційні заходи тварина загинула.

Аналізуючи анамнез, клінічну картину та результати проведеного в подальшому патологоанатомічного розтину, найімовірнішим діагнозом є гіпертрофічна кардіоміопатія. Адже більшість котів з ГКМП можуть мати безсимптомний перебіг протягом тривалого часу. Тривале порушення кровопостачання міокарда потовщеного лівого шлуночка призводить до

поступового пошкодження та загибелі кардіоміоцитів. Візит до ветеринарної клініки та проведені маніпуляції, стали тригером для запуску стресової реакції, різкого підвищення метаболічних потреб організму, а серцева недостатність не дозволила тварині впоратися із збільшеним навантаженням. Гострий стрес призвів до сильної тахікардії, та подальшого погіршення діастолічної функції і гострої лівошлуночкової серцевої недостатності. Стінка гіпертрофованого шлуночка втрачає фізіологічну властивість розслаблення в повній мірі в стадію діастоли, що призводить до підвищення діастолічного тиску в лівому шлуночку та лівому передсерді. Вище зазначені процеси призвели до зростання тиску в легеневих венах і капілярах та їх розширення з розвитком набряку легень та утворенням плеврального випоту.

Зовнішнім оглядом трупу тварини встановлено виражений сірувато-ціанотичний (блідо-синюшний) відтінок слизової оболонки губ, ясен та язика, що свідчить про гіпоксію, яка передувала загибелі тварини. Трахея містить невелику кількість пінистої прозорої рідини, слизова оболонка світло-рожевого забарвлення, помірно зволожена. Стінка стравоходу дещо світліша за норму. В грудній порожнині виявлено сторонній уміст у вигляді незначної кількості прозорої червоного забарвлення рідини. Плевра, середостіння рожево-червоного кольору, помірно зволожені, гладкі. Лімфатичні вузли не збільшені, рожевого забарвлення, пружної консистенції, кровоносні судини паренхіми середнього кровонаповнення. Виражене кровонаповнення судин у системі каудальної порожнистої та ворітної вен (фото 1).

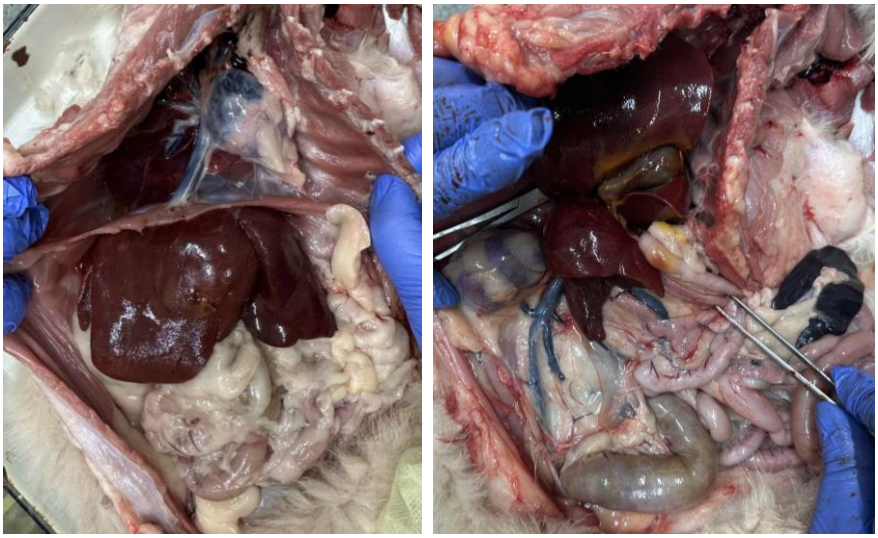


Фото 1. Виражене застійне венозне повнокров’я органів черевної порожнини з різким розширенням і кровонаповненням судин системи ворітної та каудальної порожнистої вен

Серце не правильної конфігурації за рахунок розширення порожнин передсердя (особливо правого передсердя) і правого шлуночка, верхівка органу заокруглена. Передсердя мають темно-червоне, майже чорна забарвлення. Праве

передсердя значно збільшене в об’ємі (до 5 см вушко), містить велику кількість крові, стінка потоншена, ліве передсердя (до 1,5 см вушко) (фото 2).

Співвідношення товщини стінки правого шлуночка до лівого 1:6. Стінка лівого шлуночка потовщена, пружної консистенції, просвіт звужений. Перикард напівпрозорий, рожево-червоного забарвлення. Епікард дифузного світло-коричневого забарвлення, з помірним кровонаповненням судин середнього калібру. Міокард сіро-рожевий (співпадає за кольору з епікардом, ендокард та клапани без особливостей.

На поверхні перикарду шлуночків візуалізується виражена ін'єкція вінцевих судин, які переповнені темною кров'ю. Міокард має мозаїчне забарвлення із чергуванням зон застійної гіперемії та ділянок сірувато-рожевого кольору. Таке нерівномірне забарвлення є проявом локальної ішемії або вогнищевого міокардиту. Відбулось розширення просвіту легеневої артерії до 8-10 мм (при 4-5 мм для дорослого кота), що свідчить про виражену легеневу гіпертензію.

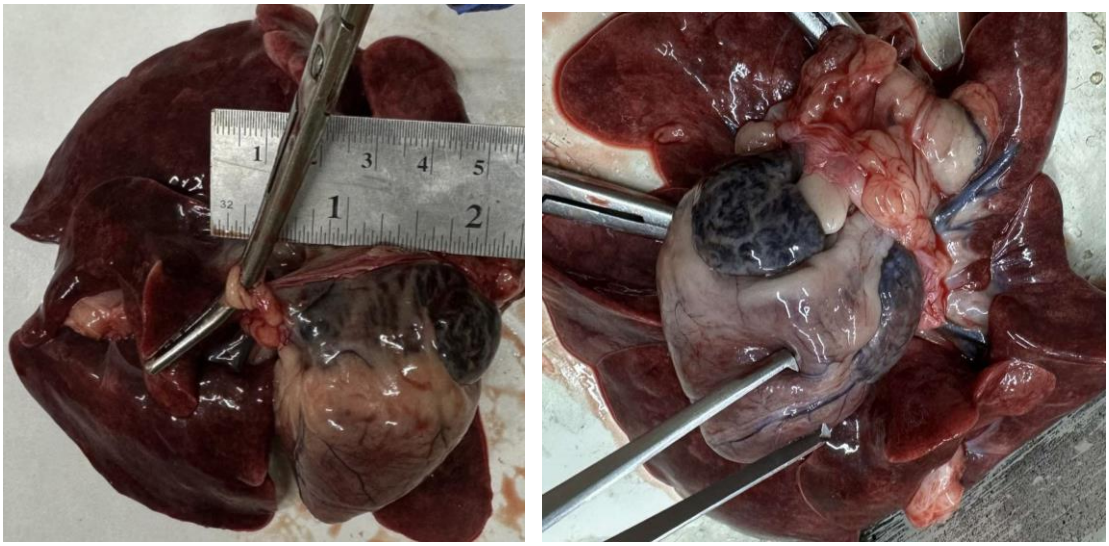


Фото 2. Темно-синюшне кровонаповнення та дилатація вушок передсердь **на тлі загального венозного повнокров’я**

У просвіті трахеї та бронхів виявлено значну кількість білувато-рожевої пінистої маси. Слизова оболонка трахеї та бронхів гіперемійована (повнокровна), місцями з дрібними петехіальними крововиливами. Паренхіма легеневих часток у стані дифузної застійної гіперемії та набряку: нерівномірного червоного забарвлення; не значно збільшені в об’ємі, тістуватої консистенції, судини підвищеного кровонаповнення; альвеоли та бронхи містять пінисту, прозору рідину (транссудат); з боку плеври простежуються округлі, більш світлого відтінку осередки, що крепітують.

Положення органів черевної порожнини анатомічно правильне, очеревина тьмяна, світло-червоного забарвлення, гладенька, помірно зволожена. В просвіті черевної порожнини – виявлено накопичення помірної кількості вільного

серозно-геморагічного транссудату без сторонніх домішок. Виражене кровонаповнення судин у системі каудальної порожнистої та ворітної вен. Наявність гідроперитонеуму (асциту) є прямим наслідком тривалого підвищення гідростатичного тиску в системі каудальної порожнистої вени. Каудальна порожниста вена та магістральні вісцеральні вени (зокрема, ниркові та портальні судини) значно розширені, та переповнені темною кров'ю. Судини брижі різко контуровані, венозні гілки переповнені темною кров'ю, що створює характерний деревоподібний малюнок, що є проявом венозного застою у портальній системі через підвищення тиску у каудальній порожнистій вені. У товщі брижі візуалізуються поодинокі, помірно збільшені (без ознак запалення) брижові лімфатичні вузли.

Селезінка пласкої видовженої форми, еластичний, дифузного темно-червоного забарвлення, паренхіма без зіскобу, судини кровонаповненні, довжина органу до 18 см (фото 3-А). Повнокров'я селезінки розвинулося внаслідок застою крові у системі селезінкової вени, яка впадає у портальну систему печінки.

Поверхня печінки має інтенсивне, темно-вишневе забарвлення. Фіброзна капсула гладка, блискуча, напружена. В паренхіми печінки чітко візуалізується виражена дрібно-вогнищева мозаїчність паренхіми. помітно чергування темно-червоних крапок та смуг із сірувато-рожевими або жовтувато-коричневими ділянками. Темні ділянки – кровонаповнені центральні вени та синусоїди часток, світлі ділянки – периферичні зони часток з менш вираженим кровонаповненням судин. З поверхні зрізу при помірному здавлюванні паренхіми, стікає венозна кров. Паренхіма щільна, еластична, без ознак розм'якшення або вираженого розростання сполучної тканини (фото 3-А). Жовчний міхур середнього наповнення, жовч рідка без домішка, слизова оболонка без пошкоджень та нашарувань.

Форма шлунку відповідає виду тварини, стінка дещо потовщена. Слизова оболонка складчаста, рожево-сірого кольору, нерівномірного світлого червоно-рожевого забарвлення, вкрита непрозорим слизом білого кольору, встановлено темно-сіре забарвлення пілоричної частини шлунку (фото 3-Б).

Кишечник у вигляді типової трубки з збереженою прохідністю. Петлі тонкого та товстого кишечника помірно наповнені хімусом. Серозна оболонка петель тонкої кишки гладка, волога, рожево-сірого кольору. Крововиливів, ознак інфарктів, тромбоемболії брижових артерій, інвагінацій чи завороту кишок немає. Стінка тонкого відділу потовщена, слизова оболонка нерівномірного світлого рожево-червоного забарвлення, містить слабко виражені дрібні крововиливи, вкрита напівпрозорим слизом. Слизова оболонка товстого відділу насиченого рожевого забарвлення, вкрита великою кількістю напівпрозорого слизу, в просвіті уміст пастоподібної консистенції, коричневого кольору, середнього наповнення.



Фото 3. Венозне повнокров'я селезінки, нирки з інтенсивним кровонаповненням кіркової та мозкової речовини (А). Дифузна гіперемія та набряк, псевдомеланоз слизової оболонки шлунку (Б)

Нирки світло-коричневого кольору (світліші за норму), є ділянки більш червоного забарвлення, що ледь простежуються на загальній поверхні. Довжина правої нирки на поздовжньому розрізі становить приблизно 4,5-4,8 см.; довжина лівої нирки 4,3-4,5 см., що є фізіологічною нормою для дорослої кішки, і свідчить про відсутність вираженої хронічної ниркової гіпертрофії. Орган із боку капсули має гладку, блискучу поверхню з слабко контурованими борознами, фіброзна капсула знялась без пошкодження паренхіми, що виключає інтерстиційні фіброзні процеси. Коркова речовина дещо потовщена, має сірувато-червоне забарвлення, судини помірно повнокровні. Мозкова речовина, особливо в ділянці ниркових пірамід та юкстамедулярної зони, насиченого темно-червоного забарвлення, що є ознакою венозної гіперемії в системі ниркових вен в наслідок процесів декомпенсації правого шлуночка серця та високого тиску у каудальній порожнистій вені (фото 3-А). Слизова оболонка ниркової миски гладка та бліда, вільна від умісту. Сечовий міхур порожній. Оболонки білого з рожевим відтінком забарвлення.

Конфігурація кісток черепа правильна, скостеніння добре виражене. Хребет: викривлення, деформація відсутня. Виражена застійна гіперемія судин оболонок головного мозку, що є наслідком ретроградного застою крові у системі яремних вен та верхньої порожнистої вени за правошлуночкової серцевої недостатності. Звивини кори півкуль головного мозку виглядають дещо згладженими, а борозни – звуженими, що свідчить про набряк паренхіми. Поздовжній розмір ізольованого головного мозку (включаючи мозочок) становить приблизно 3,5-3,8 см, що відповідає анатомічній нормі для дорослого кота.

За результатом проведеного патологоанатомічного розтину трупу кішки домашньої було встановлено: концентричну гіпертрофію міокарда лівого

шлуночка серця; дилятацію правого шлуночка серця; гостру венозну гіперемію легень; набряк легень; ектазію (дилатацію) головного стовбура легеневої артерії (до 8-10 мм); дилатацію передсердя, максимально вушка (більше – правого вушка); венозну гіперемію печінки, гепатоз; асцит (помірний); венозну гіперемію юкстамедулярної та мозкової зон нирок; підгострий катаральний гастроентерит, регіонарний лімфаденіт; венозний застій крові у системі каудальної порожнистої та ворітної вен, ектазію судин брижі кишечника; псевдомеланоз слизової оболонки шлунку; виражену застійну спленомегалію (довжина селезінки до 15,5 см); ектазію судин шлунково-селезінкового комплексу і великого сальника.

Патоморфологічний аналіз зафіксованих змін дозволяє чітко реконструювати ланцюг патогенезу та танатогенезу, в основі якого лежить декомпенсація первинної кардіоміопатії за типом концентричної гіпертрофії міокарда лівого шлуночка серця з розвитком тотальної бівентрикулярної серцевої недостатності. Первинне порушення діастолічної функції лівого шлуночка зумовило стійке підвищення тиску спочатку в лівому передсерді, а потім ретроградно – у судинах малого кола кровообігу. Тривалий пасивний венозний застій у легеневій паренхімі призвів до стійкої легеневої гіпертензії, що макроскопічно підтверджується вираженим ремоделюванням та двократною ектазією головного легеневого стовбура (8-10 мм).

Хронічне перевантаження тиском зумовило декомпенсацію правого шлуночка серця з формуванням венозного стазу. Візуальним маркером двосторонньої серцевої декомпенсації стало розширення та інтенсивний синюшно-чорне забарвлення передсердь із максимальним ураженням правого вушка. Стійке підвищення гідростатичного тиску в системі порожнистих вен призвело до депонування крові в органах великого кола кровообігу. Найбільш виражені зміни зафіксовано в портальній системі, де розвинулась венозна гіперемія печінки та гепатоз за типом «мускатної печінки», а також виражена застійна спленомегалія. Кардіогенний застій підтверджено флебектазією судин брижі, великого сальника та інтенсивним ціанозом ниркових пірамід мозкової речовини нирок. Системна інтракапілярна гіпертензія зумовила транссудацію рідкої частини крові у серозні порожнини з розвитком помірного асциту та гідротораксу.

Важливою діагностичною ознакою виявленого патоморфологічного комплексу є повна макроскопічна інтактність строми паренхіматозних органів черевної порожнини. Незважаючи на виражені ознаки портальної гіпертензії, при огляді печінки та нирок не було виявлено ознак хронічних проліферативних процесів, таких як кардіальний фіброз (цироз) або нефросклероз. Фіброзна капсула нирок знімалася легко, оголюючи абсолютно гладку поверхню коркової речовини, а капсула печінки залишалася гладкою без ознак часточкової перебудови чи вузликовості. Відсутність сполучнотканинної проліферації свідчить про відносно швидку гемодинамічну декомпенсацію тварини. Тривалість застійних явищ у великому колі була достатньою для розвитку

судинної ектазії та дистрофічних змін, проте недостатньою для активації хронічного фіброгенезу. Тривалі розлади регіонарної гемодинаміки з гіпоксично-ішемічним ураженням стінок травного тракту сприяли розвитку підгострого катарального гастроентериту та регіонарного лімфаденіту. Виявлений псевдомеланоз слизової оболонки шлунку свідчив про тривалі метаболічні й гемодинамічні порушення, що супроводжували декомпенсацію кровообігу в портальній систем.

Термінальний період танатогенезу характеризувався розвитком гострої дихальної недостатності з асфіксичним компонентом. На тлі критичного зниження серцевого викиду відбулось випотівання транссудату в альвеолярний простір. Механічне змішування рідини з повітрям під час агональних дихальних рухів призвело до утворення дрібнопухирчастої піни, яка заповнила трахею та бронхи, що підтверджено компресійними тестами легеневої паренхіми. Венозний відток крові по яремних судинах на тлі асфіксії викликав гостру церебральну гіпоксію, яка макроскопічно виявилася різкою ін'єкцією судин м'якої мозкової оболонки та набряком головного мозку з вираженою інтракраніальною гіпертензією.

Висновки:

1. Причиною загибелі тварини стала декомпенсація первинної кардіоміопатії за типом концентричної гіпертрофії міокарда лівого шлуночка серця з розвитком тотальної бівентрикулярної серцевої недостатності.
2. Хронічна легенева гіпертензія призвела до судинного ремоделювання малого кола кровообігу, що підтверджено двократною ектазією легеневого стовбура (8-10 мм), дилятацією правого шлуночка серця та критичним застоєм у вушках передсердь (переважно правого).
3. Системний ретроградний стаз у басейні каудальної порожнистої та ворітної вен викликав комплекс застійно-дистрофічних змін органів черевної порожнини: венозну гіперемію печінки з гепатозом, виражену застійну спленомегалію (15,5 см), помірний асцит, ектазію судин брижі й сальника та медулярну гіперемію нирок при повній відсутності ознак хронічного фіброзу, цирозу чи склерозу строми органів.
4. Хронічна ішемія стінок травного тракту кардіогенного генезу зумовила розвиток підгострого катарального гастроентериту, регіонарного лімфаденіту та псевдомеланозу слизової оболонки шлунку.
5. Безпосередньою причиною загибелі тварини став гострий альвеолярний набряк легень та венозна гіперемія м'якої мозкової оболонки з розвитком гострого набряку головного мозку, що призвело до термінальної асфіксії та зупинки серця.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. (Ed.). (2018). International collaborative study to assess cardiovascular risk and evaluate long-term health in cats with preclinical hypertrophic cardiomyopathy and apparently healthy cats: The REVEAL Study. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 32(6), 2310. https://doi.org/10.1111/jvim.15285
2. Bédard, C., Lanevschi-Pietersma, A., & Dunn, M. (2007). Evaluation of coagulation markers in the plasma of healthy cats and cats with asymptomatic hypertrophic cardiomyopathy. *Veterinary Clinical Pathology*, 36(2), 167–172. Portico. https://doi.org/10.1111/j.1939-165x.2007.tb00203.x
3. Borgeat, K., Connolly, D. J., & Luis Fuentes, V. (2015). Cardiac biomarkers in cats. *Journal of Veterinary Cardiology*, 17, S74–S86. https://doi.org/10.1016/j.jvc.2015.08.001
4. Côté, E., & Kittleson, M. D. (2021). The feline cardiomyopathies: 2. Hypertrophic cardiomyopathy. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 23(11), 1029-1051. doi.org
5. Fuentes, V. L., Wilkie, L. J., & Connolly, D. J. (2024). Feline hypertrophic cardiomyopathy: Phenotypic expressions, staging, and diagnostic challenges. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 54(3), 511-529. doi.org
6. Glaewketgarn, N. Assessment of longitudinal systolic funcion by using tissue motion annular displacement in hypertrophic cardiomyopathy cats. https://doi.org/10.58837/chula.the.2023.1074
7. Grosso, G., & Schober, K. E. (2026). Effect of echocardiographic imaging view and methods on left ventricular wall-thickness measurements in normal cats and cats with hypertrophic cardiomyopathy. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 40(2). https://doi.org/10.1093/jvimsj/aalag062
8. Häggström, J., Hogan, D. F., & Green, H. W. (2023). Biventricular congestive heart failure in feline patients: Pathophysiology of systemic venous congestion and body cavity effusions. *Journal of Veterinary Cardiology*, 47, 34-48. doi.org
9. Häggström, J., Luis Fuentes, V., & Wess, G. (2015). Screening for hypertrophic cardiomyopathy in cats. *Journal of Veterinary Cardiology*, 17, S134–S149. https://doi.org/10.1016/j.jvc.2015.07.003
10. Heitner, S. B. (2018). Novel Medical Therapeutics for Hypertrophic Cardiomyopathy. *Hypertrophic Cardiomyopathy*, 383–387. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92423-6_27
11. K.M. Meurs, M.M. Norgard, M. Kuan, J. Haggstrom, M. Kittleson, Analysis of 8 Sarcomeric Candidate Genes for Feline Hypertrophic Cardiomyopathy Mutations in Cats with Hypertrophic Cardiomyopathy, *Journal of Veterinary Internal Medicine*, Volume 23, Issue 4, July-August 2009, Pages 840–843, https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2009.0341.x
12. Kittleson, M. D., & Côté, E. (2021). The feline cardiomyopathies: 1. General concepts. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 23(11), 1009-1027. doi.org
13. Kittleson, M. D., Meurs, K. M., & Harris, S. P. (2015). The genetic basis of hypertrophic cardiomyopathy in cats and humans. *Journal of Veterinary Cardiology*, 17, S53–S73. https://doi.org/10.1016/j.jvc.2015.03.001
14. Luis Fuentes, V., Abbott, J., & Rishniw, M. (2022). Update on the diagnosis and management of feline hypertrophic cardiomyopathy. *In Practice*, 44(8), 475-487. doi.org
15. Maron, B. J., & Fox, P. R. (2015). Hypertrophic cardiomyopathy in man and cats. Journal of Veterinary Cardiology, 17, S6–S9. https://doi.org/10.1016/j.jvc.2015.03.007
16. Menciotti, G., Borgarelli, M., & Rishniw, M. (2025). Pulmonary hypertension secondary to left-sided heart disease in cats: Echocardiographic and post-mortem vascular remodeling correlations. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 39(1), 112-124. doi.org
17. Neumann, S., & Siegert, S. (2024). Investigation of α-Klotho Concentrations in Serum of Cats Affected by Hypertrophic Cardiomyopathy. *Veterinary Sciences*, 11(5), 184. https://doi.org/10.3390/vetsci11050184
18. Rishniw, M. (2024). How much protection does clopidogrel provide to cats with hypertrophic cardiomyopathy? *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 262(10), 1422–1424. https://doi.org/10.2460/javma.24.04.0269

19. Seo, J. W., & Chang, D. (2023). Gastrointestinal and visceral complications of chronic portal hypertension in cats with congestive heart failure: A pathological perspective. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 65(1), 14. doi.org
20. Şerbănescu, D., & Codreanu, I. (2023). Comparative study on hypertrophic cardiomyopathy in dogs and cats. *Practica Veterinara*.ro, 3(1), 18–20. https://doi.org/10.26416/pv.41.3.2023.8679
21. Wareham, K., & Dean, R. (2016). Atenolol and survival in cats with asymptomatic hypertrophic cardiomyopathy. *Veterinary Record*, 179(7), 176. Portico. https://doi.org/10.1136/vr.i3837
22. Wilkie, L. J., Rishniw, M., & Payne, J. R. (2024). Pulmonary artery ectasia and hypertension in cats: A retrospective pathologic study of 45 cases. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 65(2), 143-152. doi.org
23. Zini, E., Ferasin, L., & Ferasin, H. (2026). Visceral pathology patterns in cats with terminal congestive heart failure: Systemic venous congestion and nutmeg liver development. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 38(2), 204-215. doi.org
24. М. Скрипка, Ю. Бойко, І. Запека, К. Головань. Практика судово-ветеринарної експертизи щодо психоемоційного стресу в генезі недостатності та смерті тварин. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2023. № 106. С. 14–22. https://abbsl.osau.edu.ua/index.php/visnuk/article/view/348/312

Marina Skrypka,
Doctor of Veterinary Sciences, Professor,
Professor of the Department of Normal and Pathological Morphology, Physiology and Forensic Veterinary Medicine
Odessa State Agrarian University, Odessa, Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-2982-2537
email: marina.skripka.70@ukr.net

Ihor Panikar,
Doctor of Veterinary Sciences, Professor,
Head of the Department of Infectious Pathology, Biosafety and Veterinary and Sanitary Inspection named after Prof. V.Ya. Atamasia
Odessa State Agrarian University, Odessa, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-4695-9079
email: panikari@osau.edu.ua

Nadiya Dmytrenko,
Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Therapy named after Professor P.I. Lokes
Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-5336-2361
email: nadiia.dmytrenko@pdau.edu.ua

Konstantyn Suprunenko,
Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Therapy named after Professor P.I. Lokesa
Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-4715-0738
email: kostiantyn.suprunenko@pdau.edu.ua

SYSTEMIC MANIFESTATIONS OF CONSTANT CARDIOGENEIC SYNDROME IN CATS: CLINICAL AND ANATOMICAL ANALYSIS

Abstract

The article presents a comprehensive clinical and anatomical analysis and pathomorphological documentation of a case of chronic biventricular heart failure in a domestic cat, which developed as a result of primary cardiomyopathy. By the method of pathological autopsy and macromorphometry, a chain of changes from concentric hypertrophy of the left ventricular myocardium to total venous stasis in the small and large circles of blood circulation was recorded. Analyzing the anamnesis, clinical picture and results of the subsequent pathological autopsy, the most likely diagnosis is hypertrophic cardiomyopathy. After all, most cats with HCM can have an asymptomatic course for a long time. Prolonged disruption of the blood supply to the myocardium of the thickened left ventricle leads to gradual damage and death of cardiomyocytes. A visit to the veterinary clinic and the performed manipulations became a trigger for starting a stress reaction, a sharp increase in the metabolic needs of the body, and heart failure did not allow the animal to cope with the increased load. Acute stress led to severe tachycardia, and further deterioration of diastolic function and acute left ventricular heart failure. The wall of the hypertrophied ventricle loses its physiological property of complete relaxation in the diastole stage, which leads to an increase in diastolic pressure in the left ventricle and left atrium. The above processes led to an increase in pressure in the pulmonary veins and capillaries and their expansion with the development of pulmonary edema and the formation of pleural effusion. Secondary pulmonary hypertension with double ectasia of the pulmonary trunk (8–10 mm), congestive muscat hepatomegaly, pronounced splenomegaly (15.5 cm) and congestive gastroenteropathy with pseudomelanosis were verified. It was established that the direct cause of death was acute alveolar pulmonary edema and terminal asphyxia.

Keywords: *domestic cat, hypertrophic cardiomyopathy, cor pulmonale, nutmeg liver, splenomegaly, pseudomelanosis, pulmonary edema.*

References

1. (Ed.). (2018). International collaborative study to assess cardiovascular risk and evaluate long-term health in cats with preclinical hypertrophic cardiomyopathy and apparently healthy cats: The REVEAL Study. Journal of Veterinary Internal Medicine, 32(6), 2310. https://doi.org/10.1111/jvim.15285
2. Bédard, C., Lanevschi-Pietersma, A., & Dunn, M. (2007). Evaluation of coagulation markers in the plasma of healthy cats and cats with asymptomatic hypertrophic cardiomyopathy. Veterinary Clinical Pathology, 36(2), 167–172. Portico. https://doi.org/10.1111/j.1939-165x.2007.tb00203.x
3. Borgeat, K., Connolly, D. J., & Luis Fuentes, V. (2015). Cardiac biomarkers in cats. Journal of Veterinary Cardiology, 17, S74–S86. https://doi.org/10.1016/j.jvc.2015.08.001
4. Côté, E., & Kittleson, M. D. (2021). The feline cardiomyopathies: 2. Hypertrophic cardiomyopathy. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 23(11), 1029-1051. doi.org
5. Fuentes, V. L., Wilkie, L. J., & Connolly, D. J. (2024). Feline hypertrophic cardiomyopathy: Phenotypic expressions, staging, and diagnostic challenges. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 54(3), 511-529. doi.org
6. Glaewketgarn, N. Assessment of longitudinal systolic funcion by using tissue motion annular displacement in hypertrophic cardiomyopathy cats. https://doi.org/10.58837/chula.the.2023.1074
7. Grosso, G., & Schober, K. E. (2026). Effect of echocardiographic imaging view and methods on left ventricular wall-thickness measurements in normal cats and cats with hypertrophic cardiomyopathy. Journal of Veterinary Internal Medicine, 40(2). https://doi.org/10.1093/jvimsj/aalag062
8. Häggström, J., Hogan, D. F., & Green, H. W. (2023). Biventricular congestive heart failure in

feline patients: Pathophysiology of systemic venous congestion and body cavity effusions. *Journal of Veterinary Cardiology*, 47, 34-48. doi.org
9. Häggström, J., Luis Fuentes, V., & Wess, G. (2015). Screening for hypertrophic cardiomyopathy in cats. Journal of Veterinary Cardiology, 17, S134–S149. https://doi.org/10.1016/j.jvc.2015.07.003
10. Heitner, S. B. (2018). Novel Medical Therapeutics for Hypertrophic Cardiomyopathy. Hypertrophic Cardiomyopathy, 383–387. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92423-6_27
11. K.M. Meurs, M.M. Norgard, M. Kuan, J. Haggstrom, M. Kittleson, Analysis of 8 Sarcomeric Candidate Genes for Feline Hypertrophic Cardiomyopathy Mutations in Cats with Hypertrophic Cardiomyopathy, *Journal of Veterinary Internal Medicine*, Volume 23, Issue 4, July-August 2009, Pages 840–843, https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2009.0341.x
12. Kittleson, M. D., & Côté, E. (2021). The feline cardiomyopathies: 1. General concepts. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 23(11), 1009-1027. doi.org
13. Kittleson, M. D., Meurs, K. M., & Harris, S. P. (2015). The genetic basis of hypertrophic cardiomyopathy in cats and humans. Journal of Veterinary Cardiology, 17, S53–S73. https://doi.org/10.1016/j.jvc.2015.03.001
14. Luis Fuentes, V., Abbott, J., & Rishniw, M. (2022). Update on the diagnosis and management of feline hypertrophic cardiomyopathy. *In Practice*, 44(8), 475-487. doi.org
15. Maron, B. J., & Fox, P. R. (2015). Hypertrophic cardiomyopathy in man and cats. Journal of Veterinary Cardiology, 17, S6–S9. https://doi.org/10.1016/j.jvc.2015.03.007
16. Menciotti, G., Borgarelli, M., & Rishniw, M. (2025). Pulmonary hypertension secondary to left-sided heart disease in cats: Echocardiographic and post-mortem vascular remodeling correlations. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 39(1), 112-124. doi.org
17. Neumann, S., & Siegert, S. (2024). Investigation of α-Klotho Concentrations in Serum of Cats Affected by Hypertrophic Cardiomyopathy. Veterinary Sciences, 11(5), 184. https://doi.org/10.3390/vetsci11050184
18. Rishniw, M. (2024). How much protection does clopidogrel provide to cats with hypertrophic cardiomyopathy? Journal of the American Veterinary Medical Association, 262(10), 1422–1424. https://doi.org/10.2460/javma.24.04.0269
19. Seo, J. W., & Chang, D. (2023). Gastrointestinal and visceral complications of chronic portal hypertension in cats with congestive heart failure: A pathological perspective. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 65(1), 14. doi.org
20. Șerbănescu, D., & Codreanu, I. (2023). Comparative study on hypertrophic cardiomyopathy in dogs and cats. Practica Veterinara.ro, 3(1), 18–20. https://doi.org/10.26416/pv.41.3.2023.8679
21. Wareham, K., & Dean, R. (2016). Atenolol and survival in cats with asymptomatic hypertrophic cardiomyopathy. Veterinary Record, 179(7), 176. Portico. https://doi.org/10.1136/vr.i3837
22. Wilkie, L. J., Rishniw, M., & Payne, J. R. (2024). Pulmonary artery ectasia and hypertension in cats: A retrospective pathologic study of 45 cases. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 65(2), 143-152. doi.org
23. Zini, E., Ferasin, L., & Ferasin, H. (2026). Visceral pathology patterns in cats with terminal congestive heart failure: Systemic venous congestion and nutmeg liver development. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 38(2), 204-215. doi.org
24. M. Skrypka, Y. Boyko, I. Zapeka, K. Golovan. Practice of forensic veterinary examination of psycho-emotional stress in the genesis of animal insufficiency and death. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Region*. 2023. No. 106. P. 14–22. https://abbsl.osau.edu.ua/index.php/visnuk/article/view/348/312

Стаття надійшла до редакції 15.07.2026
Стаття пройшла рецензування 13.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

УДК 619:616.155.194.8:636.4
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.15

Костянтин Костюшкевич,
аспірант, Дніпровський державний аграрно-економічний університет
м. Дніпро, Україна
ORCID ID: 0009-0008-6546-1226
e-mail: 11520112@dsau.dp.ua

ВПЛИВ ПРЕПАРАТІВ ЗАЛІЗА РІЗНОЇ ФОРМИ НА РІВЕНЬ ГЕМОГЛОБІНУ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПОРОСЯТ

Анотація

Дефіцит заліза у поросят раннього віку залишається однією з основних причин зниження продуктивності та збереженості молодняку в умовах промислового свинарства. Метою дослідження було провести порівняльну оцінку ефективності препаратів заліза різної форми щодо їх впливу на рівень гемоглобіну, показники росту, збереженість та кінцеву продуктивність поросят. Дослідження проведено в умовах ПП «Ковчег-А» Харківської області на 206 поросятах, яких було розподілено на контрольну та дослідну групи по 103 голови. Поросятам контрольної групи вводили препарат декстрану заліза «Біоферон», а тваринам дослідної групи – препарат глептоферону «Глептосіл». Встановлено, що на 17–18 добу життя концентрація гемоглобіну у поросят дослідної групи була вищою на 17,9 % порівняно з контролем ($p < 0,05$). У період дорощування жива маса тварин дослідної групи перевищувала контроль на 6,1 %, а середньодобовий приріст був вищим на 9,0 % ($p < 0,05$). Перед реалізацією на забій свині дослідної групи характеризувалися більшою живою масою на 3,9 % та вищими середньодобовими приростами на 3,0 % ($p < 0,05$). Падіж поросят у дослідній групі був нижчим на всіх етапах вирощування. Незважаючи на дещо вищу вартість препарату глептоферону, його застосування забезпечувало кращі виробничі показники та сприяло підвищенню економічної ефективності вирощування молодняку. Отримані результати свідчать про доцільність використання препаратів на основі глептоферону для профілактики залізодефіцитної анемії у поросят в умовах промислового свинарства.

***Ключові слова**: поросята, залізодефіцитна анемія, гемоглобін, глептоферон, декстран заліза, продуктивність, середньодобовий приріст, збереженість молодняку.*

Вступ. Свинарство є однією з провідних галузей тваринництва, що забезпечує населення високоякісною продукцією та характеризується високою інтенсивністю виробництва. В умовах сучасних промислових технологій особливого значення набувають показники збереженості молодняку, інтенсивності росту та ефективності реалізації генетичного потенціалу тварин. Рівень продуктивності свиней формується під впливом комплексу генетичних, технологічних, ветеринарно-санітарних та годівельних факторів, дія яких особливо важлива у ранній постнатальний період розвитку організму [1-3].

Перші тижні життя поросят є критичним періодом, коли відбувається інтенсивний ріст тканин, становлення функціональних систем організму та

формування подальшої продуктивності. Однією з найбільш поширених проблем цього періоду є залізодефіцитна анемія, яка розвивається внаслідок обмежених запасів заліза при народженні, низького вмісту цього елемента в молоці свиноматок та високих потреб швидкозростаючого організму [4]. За відсутності належної профілактики дефіцит заліза призводить до порушення еритропоезу, зниження концентрації гемоглобіну, погіршення кисневого забезпечення тканин та зменшення інтенсивності росту молодняку [5].

Актуальність проблеми посилюється тим, що сучасні селекційні програми спрямовані на підвищення багатоплідності свиноматок і швидкості росту поросят. У результаті фізіологічна потреба молодняку в залізі постійно зростає, тоді як природні механізми забезпечення організму цим мікроелементом залишаються обмеженими. За даними сучасних досліджень, навіть у господарствах із високим рівнем технологічного забезпечення ризик розвитку залізодефіцитних станів у поросят зберігається, що обумовлює необхідність застосування ефективних профілактичних заходів [6, 7].

Важливим показником забезпеченості організму залізом є концентрація гемоглобіну в крові. Саме гемоглобін визначає ефективність транспорту кисню до тканин і значною мірою впливає на інтенсивність обмінних процесів, ріст та життєздатність тварин. Встановлено, що низькі показники гемоглобіну асоціюються зі зниженням продуктивності, погіршенням адаптаційних можливостей організму та підвищенням ризику виникнення патологічних станів. Водночас достатній рівень гемоглобіну розглядається як один із критеріїв успішного розвитку молодняку та передумова формування високої продуктивності в подальшому [8, 9].

Незважаючи на широке використання препаратів заліза у практиці свинарства, питання вибору найбільш ефективних засобів профілактики анемії залишається актуальним [4]. Особливий інтерес становить оцінка не лише безпосереднього впливу препаратів на рівень гемоглобіну, але й їхнього довгострокового впливу на інтенсивність росту, збереженість та продуктивність свиней упродовж усього виробничого циклу. Отримання таких даних має важливе наукове і практичне значення для вдосконалення технологій вирощування молодняку свиней та підвищення економічної ефективності виробництва свинини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Залізодефіцитна анемія є одним із найпоширеніших порушень обміну речовин у поросят раннього віку. Особливості внутрішньоутробного розвитку, обмежені запаси заліза при народженні та його низький вміст у молоці свиноматок створюють передумови для швидкого розвитку дефіцитних станів у період інтенсивного росту. Наслідками недостатнього забезпечення організму залізом є порушення синтезу гемоглобіну, погіршення оксигенації тканин, зниження інтенсивності обмінних процесів та пригнічення росту молодняку [10].

Важливу роль у формуванні залізного статусу поросят відіграють материнські фактори. Встановлено, що ефективність трансплацентарного та

перинатального перенесення мікроелементів має суттєвий вплив на початкові запаси заліза в організмі новонароджених тварин. Водночас навіть належне забезпечення свиноматок залізом не завжди дозволяє повністю попередити розвиток анемії у потомства, що пояснюється високими темпами росту поросят у перші тижні життя [11, 12].

Значення гемоглобіну виходить далеко за межі оцінки лише гематологічного статусу тварин. Його концентрація розглядається як інтегральний показник забезпечення організму киснем та функціонального стану системи кровотворення. Виявлено генетичні та продуктивні зв'язки між рівнем гемоглобіну свиноматок і життєздатністю потомства, а також встановлено асоціацію між гемоглобіновим статусом та окремими показниками відтворення і збереженості молодняку [13-15].

Традиційним способом профілактики анемії у поросят є парентеральне введення препаратів заліза в перші дні життя. Багаторічний виробничий досвід підтверджує ефективність такого підходу, однак оптимальні схеми застосування та вибір конкретних препаратів залишаються предметом дискусій. Порівняння різних програм профілактики показало, що рівень гемоглобіну та ступінь захисту від анемії можуть суттєво відрізнятися залежно від використовуваної схеми введення заліза [16].

Найбільш поширеними залишаються препарати на основі декстрану заліза, ефективність яких підтверджена багатьма дослідженнями. Додаткове введення заліза сприяє покращенню гематологічних показників у підсисний період та знижує ризик розвитку клінічно вираженої анемії. Разом із тим окремі дослідження свідчать про можливість подальшого підвищення ефективності профілактики шляхом удосконалення схем застосування або використання альтернативних форм заліза [17, 18].

Останніми роками значний інтерес викликають препарати на основі глептоферону. Їх застосування забезпечує ефективне підвищення рівня гемоглобіну та покращення забезпечення організму залізом у ранньому віці. Крім того, фармакокінетичні дослідження свідчать про високу біодоступність цієї форми заліза та її здатність підтримувати стабільний гематологічний статус поросят упродовж тривалого періоду після введення [19, 20].

Поряд із оцінкою гематологічних показників дедалі більше уваги приділяється вивченню впливу препаратів заліза на продуктивність тварин. Встановлено, що ефективна профілактика анемії сприяє підвищенню середньодобових приростів, покращенню конверсії корму та формуванню більшої живої маси наприкінці відгодівлі. У низці досліджень показано, що поросята з вищими показниками гемоглобіну характеризуються кращими темпами росту не лише в підсисний період, але й після відлучення та на завершальних етапах вирощування [21, 22].

Сучасні дослідження свідчать, що вплив препаратів заліза не обмежується лише процесами кровотворення. Підтверджено їх значення для підтримання гомеостазу заліза, регуляції окисно-відновних процесів та забезпечення

нормального функціонування метаболічних систем організму. Водночас надмірне надходження заліза може супроводжуватися змінами метаболічного профілю та складу кишкової мікробіоти, що потребує врахування при розробці профілактичних схем [23, 24].

Додатковий інтерес становить використання комбінованих препаратів та комплексних профілактичних підходів. Отримані результати свідчать про можливість одночасного покращення здоров'я поросят, контролю паразитарних захворювань та підвищення продуктивності за рахунок поєднання залізовмісних препаратів з іншими ветеринарними засобами [25].

Разом із цим продовжується пошук нових форм заліза та шляхів підвищення їх біологічної ефективності. Значна увага приділяється створенню препаратів із покращеними фармакологічними властивостями, вищою біодоступністю та меншим ризиком побічних ефектів. Перспективність цього напряму підтверджується результатами досліджень нових залізовмісних комплексів і вивченням особливостей обміну заліза у свиней різного віку [26-28].

Незважаючи на значну кількість досліджень, більшість із них зосереджена переважно на короткострокових змінах гематологічних показників після застосування препаратів заліза. Значно менше уваги приділено оцінці їхнього довгострокового впливу на продуктивність тварин упродовж повного виробничого циклу. Недостатньо вивченими залишаються також питання економічної ефективності використання різних форм заліза в умовах сучасних промислових свинокомплексів та їх впливу на кінцеві виробничі показники. Саме тому актуальним є проведення досліджень, спрямованих на порівняльну оцінку різних препаратів заліза за показниками рівня гемоглобіну, інтенсивності росту, збереженості та продуктивності поросят до завершення відгодівлі [29, 30].

Мета дослідження. Метою дослідження було провести порівняльну оцінку ефективності препаратів заліза різної форми (глептоферону та декстрану заліза) щодо їх впливу на рівень гемоглобіну, показники росту, збереженість та кінцеву продуктивність поросят за умов промислової технології виробництва свинини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводили в умовах ПП «Ковчег-А» Богодухівського району Харківської області. Господарство спеціалізується на промисловому виробництві свинини та використовує сучасну технологію безперервного циклу виробництва. Маточне стадо налічує близько 500 свиноматок генетики компанії Choice Genetics (Франція). Система розведення передбачає використання свинок F1 (йоркшир × ландрас), яких осіменяють кнурами породи п’єтрен або термінальної лінії Р90. Отриманий молодняк вирощують до живої маси 110–115 кг та реалізують на м’ясопереробні підприємства.

Годівлю тварин здійснювали повнораціонними комбікормами відповідно до віку та фізіологічного стану. У підсисний період використовували престартерний комбікорм промислового виробництва, який згодовували до 42-добового віку. Після відлучення тварин переводили на комбікорми власного виробництва, виготовлені з використанням зернової сировини, білкових компонентів та

премікcів. Умови утримання, годівлі та ветеринарного обслуговування були однаковими для всіх піддослідних тварин.

Для проведення досліду було сформовано дві групи поросят віком три доби за принципом аналогів. Загальна кількість тварин становила 206 голів, по 103 поросяти в кожній групі. Перед початком досліду всім поросятам встановлювали індивідуальні вушні бирки та визначали живу масу шляхом індивідуального зважування.

У контрольній групі для профілактики залізодефіцитної анемії застосовували препарат «Біоферон» (ТОВ «Біофарм», Україна) у дозі 2 мл внутрішньом'язово. Поросятам дослідної групи вводили препарат «Глептосіл» (Ceva Santé Animale, Франція) згідно з рекомендаціями виробника. Одночасно з препаратами заліза всім поросятам перорально застосовували антикокцидійний препарат «Еспакокс» (Livisto, Іспанія) у дозі 0,4 мл/кг живої маси.

Для оцінки забезпеченості організму залізом у 20 поросят кожної групи до введення препаратів визначали концентрацію гемоглобіну в крові. Дослідження проводили за допомогою портативної системи HemoCue Hb 201 (HemoCue AB, Ängelholm, Швеція). Метод ґрунтується на модифікованій реакції азидметгемоглобіну з двохвильовим фотометричним вимірюванням при довжинах хвиль 570 і 880 нм. Діапазон вимірювання приладу становить від 0 до 256 г/л. Метод характеризується високою точністю та добре корелює з референтним ціангемоглобіновим методом визначення гемоглобіну.

Отримані значення гемоглобіну класифікували як низькі (менше 90 г/л), середні (90–110 г/л) та високі (понад 110 г/л) [8]. Повторне визначення концентрації гемоглобіну проводили у віці 17–18 діб паралельно з відбором крові для лабораторних досліджень.

Протягом експерименту контролювали живу масу поросят при відлученні, у кінці періоду дорощування та перед реалізацією на забій. На підставі отриманих даних розраховували середньодобові прирости живої маси. Також упродовж усього періоду вирощування реєстрували випадки падежу та вибракування тварин.

Економічну ефективність застосування препаратів оцінювали шляхом порівняння вартості профілактичної обробки однієї голови та отриманих виробничих результатів.

Статистичну обробку результатів здійснювали методами варіаційної статистики. Для кожного показника обчислювали середнє арифметичне значення (M) та стандартне відхилення (SD). Оцінку достовірності відмінностей між середніми значеннями показників у контрольній та дослідній групах проводили за допомогою t-критерію Стьюдента для незалежних вибірок. Відмінності вважали статистично значущими при $p < 0,05$.

Результати досліджень свідчать, що застосування препаратів заліза різної форми по-різному впливало на рівень гемоглобіну та продуктивність поросят упродовж їх вирощування. Показники гемоглобіну та продуктивності поросят у підсисний період наведено в таблиці 1.

Табл. 1

Рівень гемоглобіну та продуктивність поросят у підсисний період (M ± SD)

Показник	Група тварин	
	контрольна	дослідна
Кількість поросят при народженні, гол.	103	101
Жива маса при народженні, кг	2,07 ± 0,29	1,94 ± 0,31
Гемоглобін при народженні, г/дл	10,20 ± 1,48	9,85 ± 1,88
Гемоглобін на 17–18 добу життя, г/дл	10,81 ± 1,77	12,75 ± 1,40*
Жива маса при відлученні, кг	8,32 ± 1,13	8,29 ± 0,89
Середньодобовий приріст, кг	0,253 ± 0,038	0,258 ± 0,031
Падіж, гол.	3	2

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контрольною групою при $p < 0,05$.

На початку досліду поросята обох груп характеризувалися подібним рівнем гемоглобіну та живою масою, що свідчило про їхню порівнянність перед застосуванням препаратів заліза. Через 17–18 діб після обробки концентрація гемоглобіну у поросят дослідної групи перевищувала показник контролю на 17,9 % ($p < 0,05$). Водночас істотних відмінностей за живою масою при відлученні та середньодобовими приростами не встановлено. Падіж у дослідній групі був нижчим на 33,3 %.

Отримані результати свідчать про більш ефективне забезпечення організму залізом при застосуванні глептоферону. Аналогічні дані щодо ефективнішого підвищення концентрації гемоглобіну та профілактики залізодефіцитної анемії у поросят наведені й в інших дослідженнях [19, 20] Підтримання оптимального рівня гемоглобіну є важливою передумовою нормального росту та розвитку молодняку, оскільки забезпечує ефективний транспорт кисню до тканин та інтенсивний перебіг метаболічних процесів [8].

Для оцінки віддаленого впливу препаратів заліза було проаналізовано продуктивність поросят у період дорощування та відгодівлі. Результати наведено в таблиці 2.

Табл. 2

Продуктивність поросят у період дорощування та відгодівлі (M ± SD)

Показник	Група тварин	
	контрольна	дослідна
Жива маса на 74-ту добу життя, кг	29,3 ± 0,36	31,1 ± 0,40*
Середньодобовий приріст, кг	0,456 ± 0,008	0,497 ± 0,007*
Падіж, гол.	5	2
Вибраковка, гол.	9	8

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контрольною групою при $p < 0,05$.

У період дорощування переваги поросят дослідної групи стали більш вираженими. На 74-ту добу життя їх жива маса перевищувала контроль на 6,1 % ($p < 0,05$), а середньодобовий приріст був вищим на 9,0 % ($p < 0,05$). Одночасно падіж знизився на 60,0 %, а кількість вибракованих тварин була меншою на 11,1 %.

Отримані дані свідчать, що покращення гемоглобінового статусу в ранньому віці позитивно вплинуло на подальшу реалізацію потенціалу росту поросят. Подібні закономірності встановлені й іншими дослідниками, які відзначали покращення показників росту та продуктивності молодняку за ефективної профілактики залізодефіцитних станів [22, 29] Підвищення інтенсивності росту пов’язують із покращенням кисневого забезпечення тканин, активізацією енергетичного обміну та ефективнішим використанням поживних речовин [23].

Кінцеву ефективність застосування препаратів заліза оцінювали за показниками продуктивності свиней перед реалізацією на забій (табл. 3).

Табл. 3

Продуктивність свиней перед реалізацією на забій (M ± SD)

Показник	Група тварин	
	контрольна	Дослідна
Кількість тварин, що досягли забою, гол.	86	89
Жива маса на 165-ту добу життя, кг	111,86 ± 3,60	116,17 ± 3,00*
Середньодобовий приріст, кг	0,907 ± 0,039	0,934 ± 0,032*

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контрольною групою при $p < 0,05$.

Переваги тварин дослідної групи зберігалися до завершення відгодівлі. Перед реалізацією на забій їх жива маса була більшою на 3,9 % ($p < 0,05$), а середньодобовий приріст перевищував показник контрольної групи на 3,0 % ($p < 0,05$). Крім того, до забою дійшло на 3,5 % більше тварин.

Отримані результати підтверджують, що позитивний вплив препарату на основі глептоферону не обмежувався короткочасним підвищенням концентрації гемоглобіну, а зберігався протягом усього виробничого циклу. Аналогічні результати щодо підвищення живої маси та продуктивності свиней за ефективної профілактики анемії наведені в інших дослідженнях [21, 22, 30]

Незважаючи на вищу вартість препарату «Глептосіл», додаткові витрати на обробку однієї тварини становили лише 0,70 грн. Водночас підвищення збереженості молодняку, збільшення живої маси на етапах дорощування та відгодівлі, а також більша кількість свиней, що досягли забійних кондицій, свідчать про економічну доцільність використання даного препарату в технології вирощування поросят.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Застосування препарату «Глептосіл» для профілактики залізодефіцитної анемії у поросят забезпечує ефективніше підвищення рівня гемоглобіну порівняно з препаратом

«Біоферон». На 17–18 добу життя концентрація гемоглобіну у поросят дослідної групи була вищою на 17,9 %, що свідчить про кращу забезпеченість організму залізом та ефективнішу профілактику анемічних станів у ранньому постнатальному періоді.

Покращення гемоглобінового статусу поросят у підсисний період позитивно вплинуло на їх подальшу продуктивність. У період дорощування поросята дослідної групи переважали контроль за живою масою на 6,1 %, за середньодобовими приростами на 9,0 %, а падіж був нижчим на 60,0 %. Отримані результати свідчать про тривалий позитивний вплив ефективної профілактики дефіциту заліза на реалізацію потенціалу росту молодняку.

Переваги тварин дослідної групи зберігалися до завершення відгодівлі. Перед реалізацією на забій їх жива маса була більшою на 3,9 %, а середньодобові прирости перевищували показники контрольної групи на 3,0 %. Крім того, до забою дійшло більше тварин, що свідчить про позитивний вплив препарату на збереженість та виробничі показники свиней протягом усього технологічного циклу вирощування.

Незважаючи на вищу вартість препарату, додаткові витрати на його застосування були незначними та компенсувалися покращенням продуктивності, збереженості та кінцевої живої маси тварин. Це дозволяє розглядати глептоферон як економічно доцільний засіб профілактики залізодефіцитної анемії в умовах промислового свинарства.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні впливу препаратів заліза різної форми на гематологічні, біохімічні та імунологічні показники поросят у різні вікові періоди, а також у визначенні взаємозв’язку між фізіологічним статусом молодняку та його подальшою продуктивністю, резистентністю й ефективністю використання кормів.

Автор підтверджує відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Lykhach, A., Lykhach, V., Mylostyvyi, R., Barkar, Y., Shpetny, M., & Izhboldina, O. (2022). Influence of housing air temperature on the behavioural acts, physiological parameters and performance responses of fattening pigs. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 10(3), 2226. https://doi.org/10.31893/jabb.22026
2. Hlukhenkyi, S., Lykhach, V., Lykhach, A., Barkar, Y., Izhboldina, O., & Mylostyvyi, R. (2026). The effects of pen design for farrowing and boar breed on reproductive traits of sows. *Online Journal of Animal and Feed Research*. LOCKSS. https://doi.org/10.51227/ojafr.2026.8
3. Lykhach, A., Chentsov, M., Lykhach, V., Lenkov, L., Faustov, R., Barkar, Y., Izhboldina, O., & Mylostyvyi, R. (2026). Environmental enrichment strategies for growing pigs: Effects on welfare indicators and stress-related responses. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 14(1), 2026004. https://doi.org/10.31893/jabb.2026004
4. Kostiushkevych, K. L., Yefimov, V. H., & Yesina, E. V. (2025). Iron deficiency anemia in swine: pathogenesis, diagnosis, and preventive measures. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 13(2), 30–38. https://doi.org/10.32819/2025.13010

5. Lipiński, P., Starzyński, R. R., Lenartowicz, M., Wang, X., Ogłuszka, M., & Batorska, M. (2026). Iron deficiency anemia in suckling piglets: When physiology cannot keep up with breeding goals. *The Veterinary Journal*, 315, 106530. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2025.106530
6. McMillen, S. A., Dean, R., Dihardja, E., Ji, P., & Lönnerdal, B. (2022). Benefits and Risks of Early Life Iron Supplementation. *Nutrients*, 14(20), 4380. https://doi.org/10.3390/nu14204380
7. Kolarš, B., Mijatović Jovin, V., Živanović, N., Minaković, I., Gvozdenović, N., Dickov Kokeza, I., & Lesjak, M. (2025). Iron Deficiency and Iron Deficiency Anemia: A Comprehensive Overview of Established and Emerging Concepts. *Pharmaceuticals*, 18(8), 1104. https://doi.org/10.3390/ph18081104
8. Fjelkner, J., Sannö, A., & Emanuelson, U. (2024). Iron status in piglets at three days of age and at weaning and possible seasonal effects on the blood haemoglobin levels in a Swedish outdoor pig-producing farm. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 66(1). https://doi.org/10.1186/s13028-024-00735-z
9. Bolliger, C., Jahn, L., Schüpbach-Regula, G., Nathues, H., & Grahofer, A. (2025). Blood haemoglobin concentrations in free farrowing sows and their piglets are associated with farrowing performance characteristics and sow traits. *Theriogenology*, 242, 117441. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2025.117441
10. Sawhney, S., Sarkar, G., Begum, S., & De, A. K. (2023). Iron deficiency anemia in piglets and molecular mechanisms involved in iron metabolism: A review. *Indian Journal of Animal Health*, online. https://doi.org/10.36062/ijah.2023.13822
11. Matte, J. J., & Audet, I. (2020). Maternal perinatal transfer of vitamins and trace elements to piglets. *Animal*, 14(1), 31–38. https://doi.org/10.1017/s175173111900140x
12. Mazgaj, R., Lipiński, P., & Starzyński, R. R. (2024). Iron Supplementation of Pregnant Sows to Prevent Iron Deficiency Anemia in Piglets: A Procedure of Questionable Effectiveness. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(7), 4106. https://doi.org/10.3390/ijms25074106
13. Hollema, B. L., Zwiers, S., & Hermesch, S. (2020). Genetic parameters for haemoglobin levels in sows and piglets as well as sow reproductive performance and piglet survival. *Animal*, 14(4), 688–696. https://doi.org/10.1017/s1751731119002532
14. Noblett, E., Bonin Ferriera, J., Bhattarai, S., Nielsen, J. P., & Almond, G. (2021). Late gestation hemoglobin concentrations in sows: Predictor for stillborn piglets. *Journal of Swine Health and Production*, 29(4), 200–203. https://doi.org/10.54846/jshap/1249
15. McClellan, K. A., Sheffield, S. L., & Levesque, C. L. (2024). The impact of hemoglobin concentration on farrowing duration in sows. *Translational Animal Science*, 8. https://doi.org/10.1093/tas/txae158
16. Costa, T. D. d., Teixeira, A. d. O., Moreira, L. M., Brighenti, C. R. G., Reis, R. d. S., Valente Júnior, D. T., Lyon, J. P., Pires, C. V., & Corassa, A. (2023). Evaluation of iron dextran application programs to prevent iron deficiency anemia in piglets. Revista Brasileira de Saúde E Produção *Animal*, 24. https://doi.org/10.1590/s1519-994020220013
17. Albers, S. E., Pintens, E. A., Isensee, P. K., Lemanski, C. M., & Jang, Y. D. (2022). Effect of Additional Iron Injection to Suckling Pigs on Hematocrit Level during the Suckling Period. *Animals*, 12(21), 2980. https://doi.org/10.3390/ani12212980
18. Estienne, M., Clark-Deener, S., & Williams, K. (2020). Growth performance and hematology characteristics in pigs treated with iron at weaning as influenced by nursery diets supplemented with copper. *Journal of Swine Health and Production*, 28(4), 190–203. https://doi.org/10.54846/jshap/1165
19. Karembe, H., Geneteau, A., Lacoste, S., Varinot, N., Magnier, R., Coussanes, E., Lopez, S., Sperling, D., & Peyrou, M. (2024). Comparison of an injectable toltrazuril–gleptoferron and an oral toltrazuril + injectable gleptoferron in piglets: Hematinic activities and pharmacokinetics. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 47(6), 492–502. Portico. https://doi.org/10.1111/jvp.13464

20. Hennig-Pauka, I., Ganter, M., Bornhorn, D., Lyons, W., Marco, E., Almond, G., Schneider, B., Kreienbrock, L., & Pedersen, K. S. (2025). Effect of intramuscular treatment with different iron dextran dosages and non-inferiority study to gleptoferron. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 67(1). https://doi.org/10.1186/s13028-024-00790-6
21. Almond, G., Byers, E., Seate, J., & Boyer, P. (2017). Supplemental iron dextran injections: Influence on hemoglobin concentrations and piglet growth. *Journal of Swine Health and Production*, 25(6), 308–312. https://doi.org/10.54846/jshap/990
22. Chevalier, T. B., Lyons, W., Paczosa, D. B., Rentfrow, G. K., & Lindemann, M. D. (2023). A second iron injection administered to piglets during lactation improves hemoglobin concentration, growth performance, and carcass characteristics at slaughter. *Journal of Animal Science*, 101. https://doi.org/10.1093/jas/skad270
23. Meng, Q., Wu, Q., Zhou, Q., Tang, J., Zhuo, Y., Fang, Z., Lin, Y., Xu, S., Feng, B., Hua, L., Jiang, X., Wu, D., & Che, L. (2025). Impact of Iron Supplementation on Growth Performance, Iron Homeostasis and Redox Balance of Suckling Piglets. *Animals*, 15(7), 924. https://doi.org/10.3390/ani15070924
24. Zhang, Q., Hao, Y., Tian, X., Li, X., & Feng, J. (2025). High-Dose Parenteral Iron Corrects Iron Deficiency Anemia While Disrupting Gut Microbiota and Metabolic Homeostasis in Neonatal Piglets. *Food Frontiers*, 7(1). Portico. https://doi.org/10.1002/fft2.70160
25. Decorte, B., Roose, S., Sperling, D., Chantziaras, I., Maes, D., & Geldhof, P. (2024). The effect of an injectable toltrazuril – gleptoferron (Forceris®) on Cystoisospora suis oocyst excretion and growth of neonatal piglets pre- and post-weaning. *Veterinary Parasitology*, 328, 110179. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2024.110179
26. Feng, Y., Wassie, T., Wu, Y., & Wu, X. (2023). Advances on novel iron saccharide-iron (III) complexes as nutritional supplements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(28), 10239–10255. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2222175
27. Wang, X., Lenartowicz, M., Mazgaj, R., Ogłuszka, M., Szkopek, D., Zaworski, K., Kopeć, Z., Żelazowska, B., Lipiński, P., Woliński, J., & Starzyński, R. R. (2024). Preterm Piglets Born by Cesarean Section as a Suitable Animal Model for the Study of Iron Metabolism in Premature Infants. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(20), 11215. https://doi.org/10.3390/ijms252011215
28. Xing, X., Zhang, C., Ji, P., Yang, J., Li, Q., Pan, H., & An, Q. (2023). Effects of Different Iron Supplements on Reproductive Performance and Antioxidant Capacity of Pregnant Sows as Well as Iron Content and Antioxidant Gene Expression in Newborn Piglets. *Animals*, 13(3), 517. https://doi.org/10.3390/ani13030517
29. Buyse, K., Janssens, G. P. J., Decaluwé, R., Pardon, B., Arsenakis, I., & Maes, D. (2026). Anemia in Neonatal Piglets: Different Iron Supplementation Strategies on Growth and Hematological Parameters of Piglets. *Veterinary Sciences*, 13(2), 146. https://doi.org/10.3390/vetsci13020146
30. Sánchez-Piñeyro, S., Pérez-Alvarado, M. A., López-Hernández, L. H., & Cuarón-Ibargüengoytia, J. A. (2025). Incidence of anemia in piglets and the use of supplemental iron on the quality of meat from muscles with different myoglobin content. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 16(2), 343–362. https://doi.org/10.22319/rmcp.v16i2.6592

Kostiantyn Kostiushkevych,
PhD student,
Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
ORCID ID 0009-0008-6546-1226
e-mail: 11520112@dsau.dp.ua

EFFECTS OF DIFFERENT IRON PREPARATIONS ON HAEMOGLOBIN CONCENTRATION AND GROWTH PERFORMANCE OF PIGLETS

Abstract

Iron deficiency in neonatal piglets remains one of the major causes of reduced growth performance and survivability under intensive swine production systems. The aim of this study was to compare the effectiveness of iron preparations of different forms regarding their effects on haemoglobin concentration, growth performance, survivability, and final productivity of piglets. The experiment was conducted at LLC "Kovcheg-A" (Kharkiv region, Ukraine) using 206 piglets allocated to control and experimental groups of 103 animals each. Piglets in the control group received the iron dextran preparation Bioferon, whereas animals in the experimental group were treated with the gleptoferron preparation Gleptosil. It was established that at 17–18 days of age, haemoglobin concentration in piglets of the experimental group was 17.9% higher than in the control group ($p < 0.05$). During the nursery period, live body weight of experimental piglets exceeded that of the control group by 6.1%, while average daily gain was 9.0% higher ($p < 0.05$). Before slaughter, pigs treated with gleptoferron had a 3.9% greater live body weight and a 3.0% higher average daily gain compared with the control group ($p < 0.05$). Mortality rates were lower in the experimental group throughout all stages of rearing. Despite the slightly higher cost of gleptoferron, its use resulted in improved production performance and enhanced economic efficiency of pig production. The obtained results indicate that gleptoferron-based preparations are an effective tool for the prevention of iron deficiency anaemia in piglets under commercial production conditions.

Keywords: *piglets, iron deficiency anaemia, haemoglobin, gleptoferron, iron dextran, growth performance, average daily gain, survivability.*

References

1. Lykhach, A., Lykhach, V., Mylostyvyi, R., Barkar, Y., Shpetny, M., & Izhboldina, O. (2022). Influence of housing air temperature on the behavioural acts, physiological parameters and performance responses of fattening pigs. Journal of Animal Behaviour and Biometeorology, 10(3), 2226. https://doi.org/10.31893/jabb.22026
2. Hlukhenkyi, S., Lykhach, V., Lykhach, A., Barkar, Y., Izhboldina, O., & Mylostyvyi, R. (2026). The effects of pen design for farrowing and boar breed on reproductive traits of sows. Online Journal of Animal and Feed Research. LOCKSS. https://doi.org/10.51227/ojafr.2026.8
3. Lykhach, A., Chentsov, M., Lykhach, V., Lenkov, L., Faustov, R., Barkar, Y., Izhboldina, O., & Mylostyvyi, R. (2026). Environmental enrichment strategies for growing pigs: Effects on welfare indicators and stress-related responses. Journal of Animal Behaviour and Biometeorology, 14(1), 2026004. https://doi.org/10.31893/jabb.2026004
4. Kostiushkevych, K. L., Yefimov, V. H., & Yesina, E. V. (2025). Iron deficiency anemia in swine: pathogenesis, diagnosis, and preventive measures. Theoretical and Applied Veterinary Medicine, 13(2), 30–38. https://doi.org/10.32819/2025.13010
5. Lipiński, P., Starzyński, R. R., Lenartowicz, M., Wang, X., Ogłuszka, M., & Batorska, M. (2026). Iron deficiency anemia in suckling piglets: When physiology cannot keep up with breeding goals. The Veterinary Journal, 315, 106530. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2025.106530
6. McMillen, S. A., Dean, R., Dihardja, E., Ji, P., & Lönnerdal, B. (2022). Benefits and Risks of Early Life Iron Supplementation. Nutrients, 14(20), 4380. https://doi.org/10.3390/nu14204380
7. Kolarš, B., Mijatović Jovin, V., Živanović, N., Minaković, I., Gvozdenović, N., Dickov Kokeza, I., & Lesjak, M. (2025). Iron Deficiency and Iron Deficiency Anemia: A Comprehensive Overview of Established and Emerging Concepts. Pharmaceuticals, 18(8), 1104. https://doi.org/10.3390/ph18081104
8. Fjelkner, J., Sannö, A., & Emanuelson, U. (2024). Iron status in piglets at three days of age and at weaning and possible seasonal effects on the blood haemoglobin levels in a Swedish outdoor pig-producing farm. Acta Veterinaria Scandinavica, 66(1). https://doi.org/10.1186/s13028-024-00735-z
9. Bolliger, C., Jahn, L., Schüpbach-Regula, G., Nathues, H., & Grahofer, A. (2025). Blood haemoglobin concentrations in free farrowing sows and their piglets are associated with farrowing

performance characteristics and sow traits. Theriogenology, 242, 117441. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2025.117441
10. Sawhney, S., Sarkar, G., Begum, S., & De, A. K. (2023). Iron deficiency anemia in piglets and molecular mechanisms involved in iron metabolism: A review. Indian Journal of Animal Health, online. https://doi.org/10.36062/ijah.2023.13822
11. Matte, J. J., & Audet, I. (2020). Maternal perinatal transfer of vitamins and trace elements to piglets. Animal, 14(1), 31–38. https://doi.org/10.1017/s175173111900140x
12. Mazgaj, R., Lipiński, P., & Starzyński, R. R. (2024). Iron Supplementation of Pregnant Sows to Prevent Iron Deficiency Anemia in Piglets: A Procedure of Questionable Effectiveness. International Journal of Molecular Sciences, 25(7), 4106. https://doi.org/10.3390/ijms25074106
13. Hollema, B. L., Zwiers, S., & Hermesch, S. (2020). Genetic parameters for haemoglobin levels in sows and piglets as well as sow reproductive performance and piglet survival. Animal, 14(4), 688–696. https://doi.org/10.1017/s1751731119002532
14. Noblett, E., Bonin Ferriera, J., Bhattarai, S., Nielsen, J. P., & Almond, G. (2021). Late gestation hemoglobin concentrations in sows: Predictor for stillborn piglets. Journal of Swine Health and Production, 29(4), 200–203. https://doi.org/10.54846/jshap/1249
15. McClellan, K. A., Sheffield, S. L., & Levesque, C. L. (2024). The impact of hemoglobin concentration on farrowing duration in sows. Translational Animal Science, 8. https://doi.org/10.1093/tas/txae158
16. Costa, T. D. d., Teixeira, A. d. O., Moreira, L. M., Brighenti, C. R. G., Reis, R. d. S., Valente Júnior, D. T., Lyon, J. P., Pires, C. V., & Corassa, A. (2023). Evaluation of iron dextran application programs to prevent iron deficiency anemia in piglets. Revista Brasileira de Saúde E Produção Animal, 24. https://doi.org/10.1590/s1519-994020220013
17. Albers, S. E., Pintens, E. A., Isensee, P. K., Lemanski, C. M., & Jang, Y. D. (2022). Effect of Additional Iron Injection to Suckling Pigs on Hematocrit Level during the Suckling Period. Animals, 12(21), 2980. https://doi.org/10.3390/ani12212980
18. Estienne, M., Clark-Deener, S., & Williams, K. (2020). Growth performance and hematology characteristics in pigs treated with iron at weaning as influenced by nursery diets supplemented with copper. Journal of Swine Health and Production, 28(4), 190–203. https://doi.org/10.54846/jshap/1165
19. Karembe, H., Geneteau, A., Lacoste, S., Varinot, N., Magnier, R., Coussanes, E., Lopez, S., Sperling, D., & Peyrou, M. (2024). Comparison of an injectable toltrazuril–gleptoferron and an oral toltrazuril + injectable gleptoferron in piglets: Hematinic activities and pharmacokinetics. Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics, 47(6), 492–502. Portico. https://doi.org/10.1111/jvp.13464
20. Hennig-Pauka, I., Ganter, M., Bornhorn, D., Lyons, W., Marco, E., Almond, G., Schneider, B., Kreienbrock, L., & Pedersen, K. S. (2025). Effect of intramuscular treatment with different iron dextran dosages and non-inferiority study to gleptoferron. Acta Veterinaria Scandinavica, 67(1). https://doi.org/10.1186/s13028-024-00790-6
21. Almond, G., Byers, E., Seate, J., & Boyer, P. (2017). Supplemental iron dextran injections: Influence on hemoglobin concentrations and piglet growth. Journal of Swine Health and Production, 25(6), 308–312. https://doi.org/10.54846/jshap/990
22. Chevalier, T. B., Lyons, W., Paczosa, D. B., Rentfrow, G. K., & Lindemann, M. D. (2023). A second iron injection administered to piglets during lactation improves hemoglobin concentration, growth performance, and carcass characteristics at slaughter. Journal of Animal Science, 101. https://doi.org/10.1093/jas/skad270
23. Meng, Q., Wu, Q., Zhou, Q., Tang, J., Zhuo, Y., Fang, Z., Lin, Y., Xu, S., Feng, B., Hua, L., Jiang, X., Wu, D., & Che, L. (2025). Impact of Iron Supplementation on Growth Performance, Iron Homeostasis and Redox Balance of Suckling Piglets. Animals, 15(7), 924. https://doi.org/10.3390/ani15070924

24. Zhang, Q., Hao, Y., Tian, X., Li, X., & Feng, J. (2025). High-Dose Parenteral Iron Corrects Iron Deficiency Anemia While Disrupting Gut Microbiota and Metabolic Homeostasis in Neonatal Piglets. Food Frontiers, 7(1). Portico. https://doi.org/10.1002/fft2.70160
25. Decorte, B., Roose, S., Sperling, D., Chantziaras, I., Maes, D., & Geldhof, P. (2024). The effect of an injectable toltrazuril – gleptoferron (Forceris®) on Cystoisospora suis oocyst excretion and growth of neonatal piglets pre- and post-weaning. Veterinary Parasitology, 328, 110179. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2024.110179
26. Feng, Y., Wassie, T., Wu, Y., & Wu, X. (2023). Advances on novel iron saccharide-iron (III) complexes as nutritional supplements. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 64(28), 10239–10255. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2222175
27. Wang, X., Lenartowicz, M., Mazgaj, R., Ogłuszka, M., Szkopek, D., Zaworski, K., Kopeć, Z., Żelazowska, B., Lipiński, P., Woliński, J., & Starzyński, R. R. (2024). Preterm Piglets Born by Cesarean Section as a Suitable Animal Model for the Study of Iron Metabolism in Premature Infants. International Journal of Molecular Sciences, 25(20), 11215. https://doi.org/10.3390/ijms252011215
28. Xing, X., Zhang, C., Ji, P., Yang, J., Li, Q., Pan, H., & An, Q. (2023). Effects of Different Iron Supplements on Reproductive Performance and Antioxidant Capacity of Pregnant Sows as Well as Iron Content and Antioxidant Gene Expression in Newborn Piglets. Animals, 13(3), 517. https://doi.org/10.3390/ani13030517
29. Buyse, K., Janssens, G. P. J., Decaluwé, R., Pardon, B., Arsenakis, I., & Maes, D. (2026). Anemia in Neonatal Piglets: Different Iron Supplementation Strategies on Growth and Hematological Parameters of Piglets. Veterinary Sciences, 13(2), 146. https://doi.org/10.3390/vetsci13020146
30. Sánchez-Piñeyro, S., Pérez-Alvarado, M. A., López-Hernández, L. H., & Cuarón-Ibargüengoytia, J. A. (2025). Incidence of anemia in piglets and the use of supplemental iron on the quality of meat from muscles with different myoglobin content. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 16(2), 343–362. https://doi.org/10.22319/rmcp.v16i2.6592

Стаття надійшла до редакції 14.07.2026
Стаття пройшла рецензування 12.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

УДК 619:636.2:591.5:616.155.2
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.16

Роман Милостивий,
кандидат ветеринарних наук, доцент
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
м. Дніпро, Україна
ORCID ID: 0000-0002-4450-8813
e-mail: mylostyvyi.r.v@dsau.dp.ua

ІНТЕГРАЛЬНІ ЛЕЙКОЦИТАРНІ ІНДЕКСИ ЯК ДОСТУПНІ МАРКЕРИ ІМУННОГО СТАТУСУ КОРІВ ЗА УМОВ ТЕПЛОВОГО СТРЕСУ

Анотація

У роботі досліджено інформативність інтегральних лейкоцитарних індексів (ІЛІ) як доступних маркерів імунного статусу корів голштинської породи за умов хронічного теплового стресу. Актуальність дослідження зумовлена зростанням частоти хвиль спеки та необхідністю впровадження простих і економічно доцільних методів контролю функціонального стану високопродуктивних тварин у виробничих умовах. Відомо, що тривале теплове навантаження супроводжується пригніченням природної резистентності, порушенням клітинної та гуморальної ланок імунітету, що потребує своєчасної діагностики. Дослідження проведено на коровах голштинської породи другої–третьої лактації, з яких випадковим чином сформовано дві групи-аналогів по 10 голів: дослідну, яку утримували в літній період за умов теплового навантаження, та контрольну – в осінній термонейтральний період. Рівень теплового стресу оцінювали за температурно-вологісним індексом (THI), який у дослідний період становив 77,9–78,6, тоді як у контролі залишався нижчим за 68. У крові визначали імуноглобуліни класів A, G, M, циркулюючі імунні комплекси (ЦІК), лізоцимну активність сироватки крові (ЛАСК), бактерицидну активність сироватки крові (БАСК), загальний і диференціальний вміст лейкоцитів, а також ІЛІ. Статистичну обробку результатів проводили із застосуванням критерію Манна–Уітні та кореляції Спірмена. Установлено, що хронічний тепловий стрес супроводжувався зниженням ЛАСК на 48 % ($p < 0,05$), підвищенням рівня ЦІК на 36 %, збільшенням частки паличкоядерних нейтрофілів у 2,2 раза ($p < 0,01$), зменшенням кількості лімфоцитів на 23,8 % ($p < 0,05$) і моноцитів на 42,1 % ($p < 0,05$). Найбільш інформативними виявилися індекс ядерного зсуву (ІЯЗ), нейтрофільно-лімфоцитарне співвідношення (НЛС), індекс зсуву лейкоцитів (ІЗЛ) та лімфоцитарно-еозинофільне співвідношення (ЛЕС). Встановлено сильний прямий зв'язок між НЛС та рівнем IgA ($r = 0,873$; $p < 0,05$). ІЛІ, розраховані на основі одного розгорнутого аналізу крові, є у 4,5 раза дешевшими за окреме визначення гуморальних імунологічних показників. Отримані дані підтверджують доцільність використання ІЛІ як економічно доступного та практично зручного інструменту первинного моніторингу імунного статусу корів за теплового стресу.

Ключові слова*: молочна худоба; тепловий стрес; імунний статус; лейкоцитарні індекси; природна резистентність.*

Вступ. За останні десятиліття тепловий стрес став одним із провідних факторів, що обмежують ефективність сучасного молочного скотарства. Підвищення температури повітря, збільшення частоти хвиль спеки та поєднання високої температури з підвищеною вологістю негативно впливають на

фізіологічний стан, продуктивність і добробут тварин [1–3]. Особливо чутливими до дії теплового навантаження є високопродуктивні корови голштинської породи, для яких перегрівання супроводжується зниженням споживання корму, порушенням енергетичного обміну, ослабленням імунного захисту та зменшенням надоїв [4–6].

Відомо, що тривалий вплив високих значень температурно-вологісного індексу (THI) супроводжується розвитком системного стресу, оксидативних процесів, перерозподілом клітин крові та змінами гуморальної резистентності [7–9]. За таких умов підвищується ризик маститу, метаболічних порушень і зниження відтворної здатності тварин [10–11]. Тому своєчасне виявлення негативного впливу теплового стресу є важливою умовою збереження здоров'я та продуктивного довголіття корів [12].

Одним із перспективних напрямів контролю функціонального стану організму є використання біомаркерів крові [13]. Хоча сучасні лабораторні методи дозволяють визначати широкий спектр імунологічних показників, їх застосування у виробничих умовах часто обмежується високою вартістю, потребою у спеціалізованому обладнанні та значними витратами часу. У зв'язку з цим особливого значення набуває пошук простих, швидких та економічно доступних індикаторів, придатних для масового моніторингу добробуту тварин на рівні стада.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Тепловий стрес у сучасному молочному скотарстві розглядається як один із найбільш вагомих чинників, що обмежують продуктивність, погіршують здоров'я тварин та знижують економічну ефективність виробництва молока. Зростання середньорічної температури повітря, збільшення частоти хвиль спеки та поєднання високої температури з підвищеною вологістю створюють умови, за яких механізми терморегуляції корів працюють із надмірним навантаженням. За таких умов у тварин зменшується споживання сухої речовини раціону, порушується енергетичний баланс, знижуються надої, погіршуються показники відтворення та зростає частота захворювань [14].

Особливо чутливими до дії високих температур є високопродуктивні корови голштинської породи, що пов'язано з інтенсивним обміном речовин, високою теплопродукцією та значним функціональним навантаженням у період лактації. Показано, що саме у голштинів за теплового стресу швидше розвиваються порушення гомеостазу, зміни фізіологічних реакцій та зниження продуктивності. Водночас між породами існують суттєві відмінності у термостійкості, що підтверджує важливість породного підходу до оцінки адаптаційних реакцій [15–16].

Відомо, що однією з перших систем організму, яка реагує на теплове навантаження, є система крові. Зміни гематологічних показників відображають ступінь напруження адаптаційних механізмів та можуть бути інформативними ранніми маркерами порушення фізіологічного стану. За даними різних авторів, за умов теплового стресу у корів реєструють коливання кількості еритроцитів,

рівня гемоглобіну, гематокриту, а також зміни водно-електролітного та кислотно-лужного балансу [17]. Погіршення оксигенації тканин і згущення крові розглядаються як важливі механізми негативного впливу спеки на організм тварин [18].

Не менш важливими є зміни лейкоцитарної формули та функціонального стану клітин імунної системи. Установлено, що хронічне або повторне теплове навантаження супроводжується зростанням частки нейтрофілів, зниженням кількості лімфоцитів, змінами моноцитарної ланки та ознаками пригнічення адаптивного імунітету. Подібні зрушення трактують як стрес-індуковану переорієнтацію організму на механізми швидкого природного захисту при одночасному ослабленні специфічної імунної відповіді [19–20].

Доведено також, що тепловий стрес впливає не лише на кількісний склад лейкоцитів, але й на їх функціональну активність. За гіпертермії змінюються процеси фагоцитозу, життєздатність нейтрофілів, активність мононуклеарів та експресія генів, пов’язаних з імунною відповіддю. Це свідчить про глибший рівень перебудови захисних механізмів, ніж проста зміна клітинного складу крові [21–23].

Поряд із клітинними змінами хронічний тепловий стрес супроводжується вираженими імунометаболічними порушеннями. У корів за високих температур довкілля відзначали підвищення концентрації кортизолу, зміни обміну глюкози та ліпідів, мобілізацію вільних жирних кислот, активацію процесів пероксидації ліпідів та послаблення антиоксидантного захисту. Це свідчить про тісний взаємозв’язок між ендокринною, метаболічною та імунною відповіддю організму [24–26].

Окремі дослідження вказують, що саме сезонне теплове навантаження може бути сильнішим чинником імунної дисфункції, ніж втрата маси тіла чи коливання продуктивності. За таких умов у корів зменшується кількість лейкоцитів та одночасно посилюються прояви системного запалення [20]. Це має практичне значення, оскільки субклінічні імунні порушення часто передують клінічним захворюванням вимені, кінцівок або репродуктивної системи.

Для контролю впливу теплового стресу нині активно застосовують неінвазивні методи, що базуються на використанні температурно-вологісного індексу, поведінкових реакцій, температури поверхні тіла, автоматизованого моніторингу споживання корму та цифрових сенсорних систем. Такі підходи є перспективними для виробництва, однак вони не завжди дозволяють безпосередньо оцінити глибину метаболічних та імунних зрушень в організмі [27].

У зв’язку з цим лабораторні показники крові залишаються найбільш об’єктивними індикаторами функціонального стану організму. Разом із тим розширені імунологічні дослідження, зокрема визначення імуноглобулінів, циркулюючих імунних комплексів, бактерицидної та лізоцимної активності сироватки крові, потребують спеціалізованого обладнання, підготовленого

персоналу та додаткових витрат. Для виробничих господарств це часто обмежує можливість регулярного скринінгу великих груп тварин.

Перспективною альтернативою є використання інтегральних лейкоцитарних індексів, що розраховуються на основі стандартного клінічного аналізу крові. Такі показники відображають співвідношення між окремими популяціями лейкоцитів і дозволяють комплексно оцінити напруженість запальної реакції, адаптаційний резерв, ступінь інтоксикації та загальний стан імунореактивності організму [28]. У медичній практиці вони використовуються давно, однак у ветеринарній медицині та особливо щодо великої рогатої худоби їх застосування залишається недостатньо вивченим [29].

Додатковим аргументом на користь діагностичної цінності гематологічних показників є встановлені кореляційні зв'язки між метаболічними та гематологічними біомаркерами у корів, що підтверджує інформативність системи крові як універсального індикатора фізіологічного статусу тварин [13].

Попри значну кількість публікацій, присвячених тепловому стресу, питання використання інтегральних лейкоцитарних індексів як доступних маркерів імунного статусу за умов саме хронічного теплового навантаження у молочних корів досліджене недостатньо. Недостатньо з'ясовано, наскільки ці індекси здатні відображати зміни гуморальної ланки імунітету та чи можуть вони бути економічно доцільною альтернативою вартісним лабораторним тестам у виробничих умовах.

Мета дослідження. Встановити особливості змін інтегральних лейкоцитарних індексів у корів голштинської породи за умов хронічного теплового стресу, оцінити їх діагностичну інформативність та обґрунтувати можливість використання як економічно доступних маркерів імунного статусу у виробничих умовах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводили в умовах комерційного промислового молочного комплексу в Дніпропетровській області (48°28′44″ пн. ш., 35°36′46″ сх. д.). З чистопородних корів голштинської породи другої-третьої лактації, випадковим чином сформували дві групи-аналогів по 10 голів у кожній: дослідну групу – влітку, за умов теплового навантаження (в серпні), контрольну групу – в осінній термонейтральний період (у жовтні). Достовірної різниці за кількістю днів лактації між дослідною (130,2 ± 3,13) і контрольною (130,5 ± 2,81) групами не було. Середньодобовий надій становив відповідно 24,6 ± 0,45 та 24,8 ± 0,48 кг, без достовірних відмінностей. Утримання корів безприв'язне у великогабаритному природно-вентильованому приміщенні на піщаній підстилці в боксах. Годували з кормового столу повнораціонною кормовою сумішшю на основі кукурудзяного силосу. Раціони годівлі були збалансовані за поживними речовинами відповідно до рекомендацій Національної дослідницької ради (NRC, 2001). Кормова суміш складалася з вівса, зерна кукурудзи, люцернового силосу, сіна злакових культур, пшеничної соломи, ріпакового, соняшникового і соєвого шроту, бурякового жому, а також мінерально-вітамінної добавки. Компоненти ретельно змішували

у спеціалізованих кормозмішувачах, обладнаних електронними вагами, що забезпечувало однорідність раціону. Частоту годівлі та нормування кормів контролювали за допомогою комп'ютеризованої системи. Приміщення було обладнане кормовим проходом і шістьма напувалками, до яких тварини мали вільний доступ упродовж доби. Такі умови утримання та годівлі забезпечували належний фізіологічний стан і продуктивність корів. При поводженні з тваринами дотримувалися принципів Європейської конвенції про захист хребетних тварин, дослідження були схвалені Комісією з біоетики Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

Температуру повітря та відносну вологість у приміщенні реєстрували за допомогою портативного термогігрометра Benetech GM 1360 (Shenzhen Jumaoyuan Science and Technology Co., Ltd., Китай). Рівень теплового навантаження оцінювали за температурно-вологісним індексом (THI), розрахованим за формулою Kibler (1964) [30]. Відбору проб крові у тварин дослідної групи (у серпні) передував безперервний 45-денний період теплового навантаження. Під час відбору проб крові в корів дослідної групи значення THI у приміщенні коливалися в межах 77,9–78,6 одиниць. Відбору проб крові в тварин контрольної групи (в жовтні) передував період температурного комфорту, коли значення THI стабільно залишалося нижчим за 68 одиниць, тобто через 21 добу після останнього дня з ознаками теплового стресу (THI ≥ 72).

Зразки крові відбирали шляхом пункції яремної вени в ранкові години до роздавання корму у пробірки Vacutainer® об'ємом 5 мл без антикоагулянта та 2 мл з ЕДТА (Aichele Medico AG, Базель, Швейцарія). Загальний аналіз крові проводили на автоматичному гематологічному аналізаторі Sysmex XS-1000i (Sysmex Corporation, Японія). Рівень циркулюючих імунних комплексів (ЦІК) визначали методом селективного осадження з використанням розчину поліетиленгліколю-6000 [31]. Концентрацію імуноглобулінів класів A, G та M (IgA, IgG, IgM) у сироватці крові визначали на автоматичному біохімічному аналізаторі Cobas Integra 400 Plus (Hoffmann-La Roche Ltd, Швейцарія). Лізоцимну активність сироватки крові (ЛАСК) та бактерицидну активність сироватки крові (БАСК) визначали фотоелектроколориметричним методом [32]. Лізоцимну активність визначали за методом А. Г. Дорофейчука (1968) у модифікації щодо температурних умов реакції між сироваткою крові корів і культурою *Micrococcus lysodeikticus* у фосфатному буфері. Бактерицидну активність сироватки крові визначали фотоелектроколориметричним методом у модифікації О.В. Смирнової та Т.А. Кузьміної (1966) з використанням тест-культури *Escherichia coli*. Диференціальний підрахунок лейкоцитів проводили у мазках крові, забарвлених за методом Романовського–Гімзи, з підрахунком 200 клітин у кожному препараті. Визначали частку паличкоядерних і сегментоядерних нейтрофілів, лімфоцитів, моноцитів, еозинофілів та базофілів. Для оцінки імунної відповіді використовували інтегральні лейкоцитарні індекси (ІЛІ), які широко застосовуються у біомедичних дослідженнях та були адаптовані з урахуванням лейкоцитарного профілю великої рогатої худоби [29].

У мазках крові клінічно здорових корів мієлоїдні попередники (мієлоцити, метамієлоцити, плазматичні клітини) не виявлялися, тому до розрахунків не включалися. У дослідженні використовували такі інтегральні лейкоцитарні індекси: індекс ядерного зсуву (ІЯЗ) = (П + 1) / С, характеризує ступінь зсуву лейкограми вліво; лейкоцитарний індекс (ЛІ) = Л / (П + С), відображає співвідношення лімфоцитарної та нейтрофільної ланок; лейкоцитарний індекс інтоксикації (ЛІІ) = (2 × П + С) / ((Л + М) × (Е + 1)), характеризує рівень ендогенної інтоксикації та запальної реакції; лімфоцитарно-гранулоцитарний індекс (ЛГІ) = 10 × Л / (П + С + Е), відображає баланс між адаптивною та вродженою імунною відповіддю; нейтрофільно-лімфоцитарне співвідношення (НЛС) = (П + С) / Л, характеризує активність вродженого імунітету; лімфоцитарно-еозинофільне співвідношення (ЛЕС) = Л / (Е + 1), відображає імунорегуляторний стан та алергізацію; нейтрофільно-моноцитарне співвідношення (НМС) = (П + С) / (М + 1), характеризує співвідношення короткоживучих і довгоживучих фагоцитів; лімфоцитарно-моноцитарне співвідношення (ЛМС) = Л / (М + 1), характеризує тенденції адаптивної імунної відповіді; індекс алергізації (ІА) = (Л – (Е + 1)) / (П + С + М), відображає імунні реакції за участю еозинофілів; індекс адаптації за Гаркаві (ІАГ) = Л / С, характеризує адаптаційний потенціал організму; індекс імунореактивності (ІІР) = (Л + Е) / (М + 1), оцінює загальну імунну реактивність; індекс зсуву лейкоцитів (ІЗЛ) = (Е + С + П) / (Л + М), характеризує гранулоцитарно-лімфоцитарний баланс; індекс реактивної відповіді нейтрофілів (РВН) = (П + 1) × С / ((Л + М) × (Е + 1)), характеризує функціональну реактивність нейтрофілів. У формулах використано такі позначення: П – паличкоядерні нейтрофіли, С – сегментоядерні нейтрофіли, Л – лімфоцити, М – моноцити, Е – еозинофіли. Усі показники лейкоцитарної формули виражали у відсотках (%).

Статистичну обробку даних проводили з використанням програми Statistica 12 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Результати подавали у вигляді середнього значення (M) та стандартної похибки середнього (m). Оскільки розподіл більшості показників не відповідав критеріям нормальності, для подальшого аналізу застосовували непараметричні методи статистики. Достовірність відмінностей між вибірками визначали за критерієм Манна–Уїтні. Різницю вважали статистично значущою за $p < 0,05$.

Встановлено, що тривалий тепловий стрес суттєво впливав на показники неспецифічної резистентності та гуморальної ланки імунітету корів (табл. 1). Найбільш виражені зміни встановлено за ЛАСК, яка у тварин дослідної групи знизилася на 48 % порівняно з контролем ($p < 0,05$). Це свідчить про пригнічення одного з ключових механізмів природного захисту організму в умовах тривалого теплового навантаження. Подібне послаблення факторів вродженого імунітету за дії високих температур описане і в інших дослідженнях, де тепловий стрес супроводжувався зниженням функціональної активності імунної системи [33].

Таблиця 1

Імунобіологічні показники крові корів за умов хронічного теплового стресу (M ± m)

Показник	Група		p-value
	дослідна	контрольна	
IgA, г/л	0,43 ± 0,255	0,31 ± 0,089	0,6904
IgG, г/л	1,22 ± 0,089	1,174 ± 0,040	0,5476
IgM, г/л	0,05 ± 0,010	0,046 ± 0,0296	0,6904
ЦІК, ум. од.	5,15 ± 1,691	3,78 ± 1,819	0,1811
ЛАСК, %	22,99 ± 19,87	43,82 ± 16,357	0,0137
БАСК, %	53,57 ± 20,171	43,16 ± 12,473	0,2029

Примітка: ЦІК – циркулюючі імунні комплекси; ЛАСК – лізоцимна активність сироватки крові; БАСК – бактерицидна активність сироватки крові.

Водночас БАСК у корів дослідної групи була вищою на 24 %, що можна розглядати як компенсаторну реакцію, спрямовану на підтримання системної антибактеріальної резистентності. Підвищення рівня ЦІК на 36 % також вказує на активацію імунної системи у відповідь на посилене антигенне навантаження та можливі процеси клітинного ушкодження за дії теплового стресу. Зростання маркерів системної імунної відповіді та запалення за перегрівання раніше відзначали й інші автори [34–35].

Концентрації основних класів імуноглобулінів у сироватці крові істотно не змінювалися. Рівень IgG та IgM залишався відносно стабільним, тоді як вміст IgA мав тенденцію до підвищення на 43 % у дослідній групі порівняно з контролем. Така динаміка може свідчити про активацію адаптивної, насамперед мукозальної, імунної відповіді в умовах тривалого теплового навантаження , оскільки саме слизові оболонки є одними з перших бар'єрів, що реагують на стресові чинники середовища [36–37].

Отримані результати свідчать, що хронічний тепловий стрес у корів супроводжується не лише пригніченням окремих факторів природної резистентності, а й одночасним запуском компенсаторних механізмів гуморального захисту, що відображає складний адаптаційний характер імунної відповіді організму.

Тривале теплове навантаження супроводжувалося вираженими змінами клітинної ланки імунітету у корів голштинської породи (табл. 2). Загальна кількість лейкоцитів у дослідній групі була на 17,5 % вищою порівняно з контролем, однак статистично значущої різниці не встановлено ($p > 0,05$). Подібна тенденція до помірного лейкоцитозу за дії високих температур описана у корів та інших видів сільськогосподарських тварин як прояв системної стресової реакції [38–39].

Таблиця 2

Вплив хронічного теплового стресу на лейкоцитарний профіль крові та інтегральні лейкоцитарні індекси у корів голштинської породи (M ± m)

Показник	Група		p-value
	дослідна	контрольна	
Лейкоцити, Г/л	11,77 ± 4,013	10,02 ± 1,518	0,2144
Лейкоцитарна формула, %			
Паличкоядерні нейтрофіли	4,58 ± 2,503	2,08 ± 1,443	0,0035
Сегментоядерні нейтрофіли	55,83 ± 10,894	45,42 ± 10,378	0,0525
Моноцити	2,75 ± 1,422	4,75 ± 2,261	0,0183
Лімфоцити	34,42 ± 9,995	45,17 ± 11,158	0,0404
Еозинофіли	4,50 ± 2,664	2,58 ± 2,466	0,7905
Інтегральні лейкоцитарні індекси			
Індекс ядерного зсуву (ІЯЗ)	24,90 ± 10,29	11,82 ± 5,16	0,0038
Лейкоцитарний індекс (ЛІ)	0,62 ± 0,255	0,99 ± 0,511	0,0883
Лейкоцитарний індекс інтоксикації (ЛІІ)	0,39 ± 0,233	0,43 ± 0,218	0,5063
Лімфоцитарно-гранулоцитарний індекс (ЛГІ)	5,79 ± 2,329	9,57 ± 4,89	0,0605
Нейтрофільно-лімфоцитарне співвідношення (НЛС)	2,01 ± 1,243	1,22 ± 0,522	0,0883
Лімфоцитарно-еозинофільне співвідношення (ЛЕС)	7,42 ± 3,83	17,08 ± 7,94	0,0013
Нейтрофільно-моноцитарне співвідношення (НМС)	37,50 ± 28,44	24,32 ± 20,15	0,3708
Лімфоцитарно-моноцитарне співвідношення (ЛМС)	19,80 ± 14,47	23,10 ± 21,60	0,9308
Індекс алергізації (ІА)	0,51 ± 0,237	0,89 ± 0,497	0,0404
Індекс адаптації за Гаркаві (ІАГ)	14,20 ± 5,82	13,04 ± 9,903	0,2851
Індекс імунореактивності (ІІР)	22,80 ± 16,08	24,20 ± 22,33	0,9309
Індекс зсуву лейкоцитів (ІЗЛ)	2,07 ± 1,37	1,20 ± 0,522	0,0885
Індекс реактивної відповіді нейтрофілів (РВН)	0,87 ± 0,404	1,94 ± 1,399	0,0998

Примітка. Достовірність відмінностей між групами визначали за критерієм Манна–Уїтні.

Найбільш чутливим показником лейкоцитарної формули виявилися паличкоядерні нейтрофіли, частка яких за умов теплового стресу зросла у 2,2 раза ($p < 0,01$). Частка сегментоядерних нейтрофілів також мала тенденцію до підвищення (на 22,9 %; $p = 0,0525$). Це свідчить про активацію гранулоцитопоезу

та мобілізацію нейтрофільної ланки природного захисту організму за умов тривалого перегрівання. Аналогічне зростання нейтрофілів та нейтрофільно-лімфоцитарного співвідношення за теплового стресу відзначено в роботах інших дослідників [40–41].

Одночасно у корів дослідної групи встановлено зниження частки моноцитів на 42,1 % ($p < 0,05$) та лімфоцитів на 23,8 % ($p < 0,05$), що може вказувати на виснаження фагоцитарного резерву й послаблення адаптивної імунної відповіді. Зниження лімфоцитарної ланки за хронічного теплового стресу узгоджується з даними про пригнічення клітинного імунітету та імунорегуляторних процесів у великої рогатої худоби [42].

Виявлені зміни лейкоцитарної формули закономірно відобразилися у значеннях інтегральних лейкоцитарних індексів. Індекс ядерного зсуву (ІЯЗ) у корів дослідної групи зріс у 2,1 раза ($p < 0,01$), що підтверджує посилений вихід молодих форм нейтрофілів у периферичну кров та зсув лейкограми вліво.

Показники, пов’язані з лімфоцитарною регуляцією, навпаки, знижувалися. Лімфоцитарно-еозинофільне співвідношення (ЛЕС) зменшилося на 56,6 % ($p < 0,01$), а індекс алергізації (ІА) – на 42,7 % ($p < 0,05$), що свідчить про зниження імунорегуляторної стабільності та адаптаційного резерву організму.

У біологічно очікуваному напрямі змінювалися й інші індекси: лейкоцитарний індекс (ЛІ) знижувався на 37,4 %, лімфоцитарно-гранулоцитарний індекс (ЛГІ) – на 39,5 %, індекс реактивної відповіді нейтрофілів (РВН) – на 55,2 %, тоді як нейтрофільно-лімфоцитарне співвідношення (НЛС) зросло на 64,8 %, а індекс зсуву лейкоцитів (ІЗЛ) – на 72,5 %. Однак ці зміни не досягали статистичної значущості.

Таким чином, хронічний тепловий стрес у корів характеризувався активацією нейтрофіл-асоційованих механізмів природного захисту одночасно з пригніченням лімфоцитзалежної адаптивної відповіді, що загалом узгоджується з сучасними уявленнями про імунну перебудову організму за тривалого перегрівання [33, 35, 43].

Проведений кореляційний аналіз підтвердив інформативність інтегральних лейкоцитарних індексів як доступних маркерів імунного статусу корів за умов хронічного теплового стресу (табл. 3). Найбільш виражені взаємозв’язки встановлено між показниками, що характеризують нейтрофільну реакцію, та концентрацією імуноглобуліну А.

Зокрема, між НЛС та рівнем IgA виявлено сильний прямий кореляційний зв’язок ($r = 0,873$; $p < 0,05$). Подібний за силою зв’язок встановлено також для ІЗЛ ($r = 0,869$; $p < 0,05$). Це свідчить, що активація нейтрофільної ланки природного захисту супроводжується посиленням гуморальної, насамперед мукозальної, імунної відповіді.

ІЯЗ мав достовірний позитивний зв’язок із рівнем циркулюючих імунних комплексів ($r = 0,537$; $p < 0,05$), що може відображати взаємозв’язок між мобілізацією молодих форм нейтрофілів та підвищеним антигенним навантаженням організму за тривалого теплового стресу.

Таблиця. 3

Кореляційні зв'язки між інтегральними лейкоцитарними індексами та імунобіологічними показниками крові корів

Інтегральні лейкоцитарні індекси	IgA, г/л	IgG, г/л	IgM, г/л	ЦІК, ум. од.	ЛАСК, %	БАСК, %
ІЯЗ	0,618	-0,384	-0,141	0,537*	-0,318	-0,094
ЛІ	-0,568	-0,282	-0,488	-0,291	0,074	0,080
ЛІІ	0,631	-0,150	-0,116	-0,018	0,227	-0,275
ЛІГІ	-0,554	-0,308	-0,515	-0,291	0,071	0,069
НЛС	0,873*	0,046	0,061	0,368	0,008	-0,268
ЛЕС	-0,437	-0,335	-0,629	-0,281	0,118	-0,053
НМС	0,501	0,377	-0,130	0,308	0,131	-0,385
ЛМС	-0,348	0,299	-0,511	0,115	0,184	-0,161
ІА	-0,556	-0,286	-0,521	-0,305	0,094	0,078
ІАГ	-0,398	-0,524	-0,552	0,264	-0,229	0,082
ІІР	-0,302	0,406	-0,489	0,162	0,185	-0,205
ІЗЛ	0,869*	0,106	0,066	0,369	0,013	-0,286
РВН	0,389	0,091	0,089	-0,349	0,362	-0,124

Примітка. * – $p < 0,05$. ЦІК – циркулюючі імунні комплекси; ЛАСК – лізоцимна активність сироватки крові; БАСК – бактерицидна активність сироватки крові.

Для індексів, пов'язаних з переважанням лімфоцитарної ланки, характерними були переважно зворотні зв'язки з IgA та IgM. Так, ЛІ, ЛІГІ та ІА демонстрували негативну кореляцію з рівнем IgA, що свідчить про зміщення імунного балансу у бік нейтрофіл-асоційованих реакцій.

Зв'язки ІЛІ із ЛАСК та БАСК були менш вираженими, що може вказувати на відносну автономність гуморальних факторів природної резистентності від клітинних перебудов лейкоцитарної формули.

Таким чином, результати кореляційного аналізу підтверджують, що ІЛІ відображають ключові зміни як клітинної, так і гуморальної ланок імунітету та можуть використовуватися як економічно доцільний інструмент первинного моніторингу імунного статусу корів за умов тривалого теплового навантаження.

Слід зазначити, що лейкоцитарні індекси, розраховані на основі одного розгорнутого аналізу крові з лейкоцитарною формулою, є у 4.5 раза дешевшими за окреме визначення IgA, IgG, IgM і циркулюючих імунних комплексів та майже у 8 разів – за розширене імунологічне обстеження, що підкреслює їх практичну цінність як доступних маркерів імунного статусу за теплового стресу. Крім того, визначення ЛАСК та БАСК зазвичай потребує спеціалізованих лабораторних методик, додаткового обладнання та стандартизованих умов виконання, що обмежує їх широке застосування у рутинному клінічному моніторингу.

Натомість ІЛІ можуть бути оперативно отримані без суттєвих додаткових витрат із результатів загального аналізу крові, що робить їх зручним, економічно обґрунтованим і практично орієнтованим інструментом оцінки імунного статусу корів в умовах теплового навантаження. За наявності встановлених кореляцій з гуморальними показниками вони забезпечують клінічно релевантну за практичною цінністю інформацію щодо стану імунної відповіді та можуть використовуватися як економічно доцільний підхід для первинного скринінгу без застосування вартісних лабораторних тестів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Хронічний тепловий стрес у корів голштинської породи супроводжується вираженими змінами показників неспецифічної резистентності, гуморальної та клітинної ланок імунітету. Це проявляється зниженням лізоцимної активності сироватки крові, підвищенням рівня циркулюючих імунних комплексів, а також перебудовою лейкоцитарної формули з активацією нейтрофільної ланки природного захисту та пригніченням адаптивної імунної відповіді.

Найбільш інформативними інтегральними лейкоцитарними індексами за умов тривалого теплового навантаження виявилися індекс ядерного зсуву, нейтрофільно-лімфоцитарне співвідношення, індекс зсуву лейкоцитів та лімфоцитарно-еозинофільне співвідношення. Саме ці показники найбільш чітко відображали розвиток стрес-асоційованих змін імунного статусу та можуть розглядатися як чутливі маркери адаптаційної відповіді організму.

Встановлені кореляційні зв’язки між інтегральними лейкоцитарними індексами та імунобіологічними показниками крові підтверджують можливість використання цих індексів як доступних непрямих індикаторів функціонального стану імунної системи корів за теплового стресу. Лейкоцитарні індекси, розраховані на основі одного розгорнутого аналізу крові, є економічно доцільним інструментом первинного моніторингу, оскільки не потребують застосування вартісних лабораторних методів та можуть ефективно використовуватися в умовах виробничих молочних ферм.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні порогових значень інтегральних лейкоцитарних індексів для раннього виявлення теплового стресу, оцінці їх прогностичної цінності щодо продуктивності, резистентності та захворюваності корів, а також у розробленні практичних схем скринінгу для господарств різного технологічного типу.

Автор підтверджує відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Dahl, G. E., Tao, S., & Laporta, J. (2020). Heat Stress Impacts Immune Status in Cows Across the Life Cycle. *Frontiers in Veterinary Science*, 7. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00116
2. Gupta, S., Sharma, A., Joy, A., Dunshea, F. R., & Chauhan, S. S. (2022). The Impact of Heat Stress on Immune Status of Dairy Cattle and Strategies to Ameliorate the Negative Effects. *Animals*, 13(1), 107. https://doi.org/10.3390/ani13010107

3. Chen, X., Shu, H., Sun, F., Yao, J., & Gu, X. (2023). Impact of Heat Stress on Blood, Production, and Physiological Indicators in Heat-Tolerant and Heat-Sensitive Dairy Cows. *Animals*, 13(16), 2562. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13162562
4. Hoffmann, G., Silpa, M. V., Mylostyvyi, R., & Sejian, V. (2021). Non-Invasive Methods to Quantify the Heat Stress Response in Dairy Cattle. Climate Change and Livestock Production: Recent Advances and Future Perspectives, 85–98. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9836-1_8
5. Grelet, C., Vanden Dries, V., Leblois, J., Wavreille, J., Mirabito, L., Soyeurt, H., Franceschini, S., Gengler, N., Brostaux, Y., HappyMoo Consortium, & Dehareng, F. (2022). Identification of chronic stress biomarkers in dairy cows. *Animal*, 16(5), 100502. https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100502
6. Kim, H., Jo, J.-H., Lee, H.-G., Park, W., Lee, H.-K., Park, J.-E., & Shin, D. (2024). Inflammatory response in dairy cows caused by heat stress and biological mechanisms for maintaining homeostasis. *PLOS ONE*, 19(3), e0300719. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300719
7. Sejian, V., Shashank, C. G., Silpa, M. V., Madhusoodan, A. P., Devaraj, C., & Koenig, S. (2022). Non-Invasive Methods of Quantifying Heat Stress Response in Farm Animals with Special Reference to Dairy Cattle. *Atmosphere*, 13(10), 1642. https://doi.org/10.3390/atmos13101642
8. Zeng, J., Cai, J., Wang, D., Liu, H., Sun, H., & Liu, J. (2023). Heat stress affects dairy cow health status through blood oxygen availability. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1). https://doi.org/10.1186/s40104-023-00915-3
9. Blond, B., Majkić, M., Spasojević, J., Hristov, S., Radinović, M., Nikolić, S., Anđušić, L., Čukić, A., Došenović Marinković, M., Vujanović, B. D., Obradović, N., & Cincović, M. (2024). Influence of Heat Stress on Body Surface Temperature and Blood Metabolic, Endocrine, and Inflammatory Parameters and Their Correlation in Cows. *Metabolites*, 14(2), 104. https://doi.org/10.3390/metabo14020104
10. Skliarov, P., Kornienko, V., Midyk, S., & Mylostyvyi, R. (2022). Impaired reproductive performance of dairy cows under heat stress. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 87(2), 85-92.
11. Koch, F., Viergutz, T., Kühn, C., & Kuhla, B. (2025). Dynamic immune and molecular responses to chronic heat stress in blood and peripheral blood mononuclear cells of dairy cows. *Frontiers in Immunology*, 16. https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1633453
12. Stefanska, B., Pruszynska-Oszmalek, E., Fievez, V., Purwin, C., & Nowak, W. (2024). Impact of heat stress during close-up dry period on performance, fertility and immunometabolic blood indices of dairy cows: prospective cohort study. *Scientific Reports*, 14(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-72294-2
13. Chabanenko, D., & Shynkarenko, R. (2026). Correlation between key blood biomarkers (beta-hydroxybutyrate, glucose, lipoproteins) and haematological parameters in Brown Swiss cows housed in a naturally ventilated barn. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral*, (118), 222–242. https://doi.org/10.37000/abbsl.2026.118.15
14. Chen, X., Shu, H., Sun, F., Yao, J., & Gu, X. (2023). Impact of Heat Stress on Blood, Production, and Physiological Indicators in Heat-Tolerant and Heat-Sensitive Dairy Cows. *Animals*, 13(16), 2562. https://doi.org/10.3390/ani13162562
15. Lacetera, N., Bernabucci, U., Scalia, D., Basiricò, L., Morera, P., & Nardone, A. (2006). Heat Stress Elicits Different Responses in Peripheral Blood Mononuclear Cells from Brown Swiss and Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 89(12), 4606–4612. https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72510-3
16. Mylostyvyi, R., Lesnovskay, O., Karlova, L., Khmeleva, O., Kalinichenko, O., Orishchuk, O., Tsap, S., Begma, N., Cherniy, N., Gutyj, B., & Izhboldina, O. (2021). Brown Swiss cows are more heat resistant than Holstein cows under hot summer conditions of the continental climate of Ukraine. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 9(4), 1–8. DOI: https://doi.org/10.31893/jabb.21034

17. Lora, I., Calderone, C., Prussiani, L., Contiero, B., Malagoli, S., Lotto, A., & Cozzi, G. (2024). Reference limits for blood gas analysis performed from coccygeal vessels of multiparous Holstein dairy cows: Effects of stage of lactation and season of sampling. *Journal of Dairy Science*, 107(11), 9839–9846. https://doi.org/10.3168/jds.2024-24859
18. Mylostyva, D., Prudnikov, V., Kolisnyk, O., Lykhach, A., Begma, N., Kalinichenko, O., Khmeleva, O., Sanzhara, R., Izhboldina, O., & Mylostyvyi, R. (2022). Biochemical changes during heat stress in productive animals with an emphasis on the antioxidant defense system. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 10(1), 2209. https://doi.org/10.31893/jabb.22009
19. Joo, S. S., Lee, S. J., Park, D. S., Kim, D. H., Gu, B.-H., Park, Y. J., Rim, C. Y., Kim, M., & Kim, E. T. (2021). Changes in Blood Metabolites and Immune Cells in Holstein and Jersey Dairy Cows by Heat Stress. *Animals*, 11(4), 974. https://doi.org/10.3390/ani11040974
20. Zachut, M., Kra, G., Nemes-Navon, N., Ben-Aharon, N., Moallem, U., Lavon, Y., & Jacoby, S. (2020). Seasonal heat load is more potent than the degree of body weight loss in dysregulating immune function by reducing white blood cell populations and increasing inflammation in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 10809–10822. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18547
21. Cartwright, S. L., McKechnie, M., Schmied, J., Livernois, A. M., & Mallard, B. A. (2021). Effect of in-vitro heat stress challenge on the function of blood mononuclear cells from dairy cattle ranked as high, average and low immune responders. *BMC Veterinary Research*, 17(1). https://doi.org/10.1186/s12917-021-02940-8
22. Livernois, A. M., Mallard, B. A., Cartwright, S. L., & Cánovas, A. (2021). Heat stress and immune response phenotype affect DNA methylation in blood mononuclear cells from Holstein dairy cows. *Scientific Reports*, 11(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-89951-5
23. Scatà, M. C., Alhussien, M. N., Grandoni, F., Reale, A., Zampieri, M., Hussen, J., & De Matteis, G. (2024). Hyperthermia-induced changes in leukocyte survival and phagocytosis: a comparative study in bovine and buffalo leukocytes. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1327148
24. Abbas, Z., Sammad, A., Hu, L., Fang, H., Xu, Q., & Wang, Y. (2020). Glucose Metabolism and Dynamics of Facilitative Glucose Transporters (GLUTs) under the Influence of Heat Stress in Dairy Cattle. *Metabolites*, 10(8), 312. DOI: https://doi.org/10.3390/metabo10080312
25. Alberghina, D., Amato, A., Brancato, G., Cavallo, C., Liotta, L., & Lopreiato, V. (2024). Impact of Heat Stress on the Balance between Oxidative Markers and the Antioxidant Defence System in the Plasma of Mid-Lactating Modicana Dairy Cows. *Animals*, 14(14), 2034. https://doi.org/10.3390/ani14142034
26. Farafonov, S., Yaremko, O., Gutyj, B., Cherniy, N., Kozyr, V., Lykhach, A., Skliarov, P., Khmeleva, O., Mylostyva, D., & Mylostyvyi, R. (2024). Functional activity of blood neutrophils and immune status of heifers under the influence of probiotics. *Veterinarska Stanica*, 56(1), 29–38. https://doi.org/10.46419/vs.56.1.8
27. Mylostyvyi, R., & Izhboldina, O. (2025). An Integrated Approach Using Temperature–Humidity Index, Productivity, and Welfare Indicators for Herd-Level Heat Stress Assessment in Dairy Cows. *Animals*, 15(22), 3341. https://doi.org/10.3390/ani15223341
28. Minias, P. (2019). Evolution of heterophil/lymphocyte ratios in response to ecological and life-history traits: A comparative analysis across the avian tree of life. *Journal of Animal Ecology*, 88(4), 554–565. Portico. https://doi.org/10.1111/1365-2656.12941
29. Mylostyvyi, R., Sejian, V., Izhboldina, O., Sanzhara, R., Chernenko, Olena, Dochkin, D., & Hoffmann, G. (2026). Changes in leukocyte indices of Holstein cows under prolonged heat stress conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 58(2). https://doi.org/10.1007/s11250-026-04910-4
30. Mylostyvyi, R., Lacetera, N., Amadori, M., Sejian, V., Souza-Junior, J. B. F., & Hoffmann, G. (2023). The autumn low milk yield syndrome in Brown Swiss cows in continental climates:

hypotheses and facts. *Veterinary Research Communications*, 48(1), 203–213. https://doi.org/10.1007/s11259-023-10203-0
31. Hašková, V., Kašlík, J., Říha, I., Matl, I., & Rovenský, J. (1978). Simple Method of Circulating Immune Complex Detection in Human Sera by Polyethylene Glycol Precipitation. *Zeitschrift Für Immunitätsforschung: Immunobiology*, 154(4), 399–406. https://doi.org/10.1016/s0340-904x(78)80012-8
32. Влізло В.В., Федорчук Р.С., Ратич І.Б. та ін. Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині: довідник. Львів: Сполом, 2012. 764 с.
33. Alhussien, M. N., Hussen, J., & De Matteis, G. (2024). Editorial: Heat stress and immune responses in livestock: current challenges and intervention strategies. *Frontiers in Veterinary Science*, 11. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1366274
34. Blond, B., Majkić, M., Spasojević, J., Hristov, S., Radinović, M., Nikolić, S., Anđušić, L., Čukić, A., Došenović Marinković, M., Vujanović, B. D., Obradović, N., & Cincović, M. (2024). Influence of Heat Stress on Body Surface Temperature and Blood Metabolic, Endocrine, and Inflammatory Parameters and Their Correlation in Cows. *Metabolites*, 14(2), 104. https://doi.org/10.3390/metabo14020104
35. Lemal, P., May, K., König, S., Schroyen, M., & Gengler, N. (2023). Invited review: From heat stress to disease—Immune response and candidate genes involved in cattle thermotolerance. *Journal of Dairy Science*, 106(7), 4471–4488. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22727
36. Koch, F., Otten, W., Sauerwein, H., Reyer, H., & Kuhla, B. (2023). Mild heat stress–induced adaptive immune response in blood mononuclear cells and leukocytes from mesenteric lymph nodes of primiparous lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 106(4), 3008–3022. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22520
37. Kim, W.-S., Nejad, J. G., Park, K.-K., & Lee, H.-G. (2023). Heat Stress Effects on Physiological and Blood Parameters, and Behavior in Early Fattening Stage of Beef Steers. *Animals*, 13(7), 1130. https://doi.org/10.3390/ani13071130
38. Barnes, T. L., Burrack, R. M., Schmidt, T. B., Petersen, J. L., & Yates, D. T. (2021). Sustained heat stress elevated corneal and body surface temperatures and altered circulating leukocytes and metabolic indicators in wether lambs supplemented with ractopamine or zilpaterol. *Journal of Animal Science*, 99(9). https://doi.org/10.1093/jas/skab236
39. Park, D. S., Gu, B.-H., Park, Y. J., Joo, S. S., Lee, S.-S., Kim, S.-H., Kim, E. T., Kim, D. H., Lee, S. S., Lee, S. J., Kim, B.-W., & Kim, M. (2021). Dynamic changes in blood immune cell composition and function in Holstein and Jersey steers in response to heat stress. *Cell Stress and Chaperones*, 26(4), 705–720. https://doi.org/10.1007/s12192-021-01216-2
40. Tejaswi, V., Balachander, B., Samad, H. A., Sarkar, M., Maurya, V. P., & Singh, G. (2020). Assessment of heat stress induced alterations in polymorphonuclear (PMN) cell activity in native and crossbred cows. *Journal of Applied Animal Research*, 48(1), 549–552. https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1829629
41. Mayengbam, P, Upadhyay, R. C., Tolenkhomba, T. C. (2021). Acute thermal exposure increases neutrophil-lymphocyte ratio of Sahiwal heifers. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9(2), 240–243.
42. Das, P., Alex, R., Gowane, G. R., Vohra, V., Paul, D., Khan, K. D., Upadhyay, A., De, S., & Ludri, A. (2024). Chronic heat stress upregulates pyruvate metabolic process and gluconeogenesis but downregulates immune responses in Sahiwal cattle. *International Journal of Biometeorology*, 69(1), 195–208. https://doi.org/10.1007/s00484-024-02804-4

Roman Mylostyvyi,
Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor,
Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-4450-8813

e-mail: mylostyvyi.r.v@dsau.dp.ua

INTEGRAL LEUCOCYTE INDICES AS ACCESSIBLE MARKERS OF IMMUNE STATUS IN COWS UNDER HEAT STRESS CONDITIONS

Abstract

This study investigated the informative value of integral leucocyte indices (ILIs) as accessible markers of immune status in Holstein cows under conditions of chronic heat stress. The relevance of the study is determined by the increasing frequency of heat waves and the need to implement simple and economically feasible methods for monitoring the functional status of highly productive animals under commercial farming conditions. Prolonged heat load is known to be accompanied by suppression of natural resistance and disturbances in both cellular and humoral components of immunity, which requires timely diagnosis. The study was conducted on second- and third-lactation Holstein cows, from which two analogous groups of 10 animals each were randomly formed: an experimental group maintained during the summer period under heat load conditions, and a control group kept during the autumn thermoneutral period. The level of heat stress was assessed using the temperature-humidity index (THI), which ranged from 77.9 to 78.6 during the experimental period, whereas in the control group it remained below 68. Blood samples were analyzed for immunoglobulins of classes A, G, and M, circulating immune complexes (CICs), serum lysozyme activity (SLA), serum bactericidal activity (SBA), total and differential leucocyte counts, as well as ILIs. Statistical analysis was performed using the Mann–Whitney U test and Spearman correlation analysis. It was established that chronic heat stress was accompanied by a 48% decrease in SLA ($p < 0.05$), a 36% increase in CIC concentration, a 2.2-fold increase in band neutrophils ($p < 0.01$), and decreases in lymphocytes by 23.8% ($p < 0.05$) and monocytes by 42.1% ($p < 0.05$). The most informative indices were the nuclear shift index (NSI), neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR), leucocyte shift index (LSI), and lymphocyte-to-eosinophil ratio (LER). A strong positive relationship was found between NLR and IgA level ($r = 0.873$; $p < 0.05$). ILIs calculated from a single complete blood count were 4.5 times less expensive than separate determination of humoral immunological parameters. The obtained data confirm the feasibility of using ILIs as an economically accessible and practically convenient tool for primary monitoring of immune status in cows under heat stress.

Keywords: *dairy cattle; heat stress; immune status; leucocyte indices; natural resistance.*

References

1. Dahl, G. E., Tao, S., & Laporta, J. (2020). Heat Stress Impacts Immune Status in Cows Across the Life Cycle. Frontiers in Veterinary Science, 7. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00116
2. Gupta, S., Sharma, A., Joy, A., Dunshea, F. R., & Chauhan, S. S. (2022). The Impact of Heat Stress on Immune Status of Dairy Cattle and Strategies to Ameliorate the Negative Effects. Animals, 13(1), 107. https://doi.org/10.3390/ani13010107
3. Chen, X., Shu, H., Sun, F., Yao, J., & Gu, X. (2023). Impact of Heat Stress on Blood, Production, and Physiological Indicators in Heat-Tolerant and Heat-Sensitive Dairy Cows. Animals, 13(16), 2562. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13162562
4. Hoffmann, G., Silpa, M. V., Mylostyvyi, R., & Sejian, V. (2021). Non-Invasive Methods to Quantify the Heat Stress Response in Dairy Cattle. Climate Change and Livestock Production: Recent Advances and Future Perspectives, 85–98. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9836-1_8
5. Grelet, C., Vanden Dries, V., Leblois, J., Wavreille, J., Mirabito, L., Soyeurt, H., Franceschini, S., Gengler, N., Brostaux, Y., HappyMoo Consortium, & Dehareng, F. (2022). Identification of chronic stress biomarkers in dairy cows. Animal, 16(5), 100502. https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100502

6. Kim, H., Jo, J.-H., Lee, H.-G., Park, W., Lee, H.-K., Park, J.-E., & Shin, D. (2024). Inflammatory response in dairy cows caused by heat stress and biological mechanisms for maintaining homeostasis. PLOS ONE, 19(3), e0300719. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300719
7. Sejian, V., Shashank, C. G., Silpa, M. V., Madhusoodan, A. P., Devaraj, C., & Koenig, S. (2022). Non-Invasive Methods of Quantifying Heat Stress Response in Farm Animals with Special Reference to Dairy Cattle. Atmosphere, 13(10), 1642. https://doi.org/10.3390/atmos13101642
8. Zeng, J., Cai, J., Wang, D., Liu, H., Sun, H., & Liu, J. (2023). Heat stress affects dairy cow health status through blood oxygen availability. Journal of Animal Science and Biotechnology, 14(1). https://doi.org/10.1186/s40104-023-00915-3
9. Blond, B., Majkić, M., Spasojević, J., Hristov, S., Radinović, M., Nikolić, S., Anđušić, L., Čukić, A., Došenović Marinković, M., Vujanović, B. D., Obradović, N., & Cincović, M. (2024). Influence of Heat Stress on Body Surface Temperature and Blood Metabolic, Endocrine, and Inflammatory Parameters and Their Correlation in Cows. Metabolites, 14(2), 104. https://doi.org/10.3390/metabo14020104
10. Skliarov, P., Kornienko, V., Midyk, S., & Mylostyvyi, R. (2022). Impaired reproductive performance of dairy cows under heat stress. Agriculturae Conspectus Scientificus, 87(2), 85-92.
11. Koch, F., Viergutz, T., Kühn, C., & Kuhla, B. (2025). Dynamic immune and molecular responses to chronic heat stress in blood and peripheral blood mononuclear cells of dairy cows. Frontiers in Immunology, 16. https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1633453
12. Stefanska, B., Pruszynska-Oszmalek, E., Fievez, V., Purwin, C., & Nowak, W. (2024). Impact of heat stress during close-up dry period on performance, fertility and immunometabolic blood indices of dairy cows: prospective cohort study. Scientific Reports, 14(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-72294-2
13. Chabanenko, D., & Shynkarenko, R. (2026). Correlation between key blood biomarkers (beta-hydroxybutyrate, glucose, lipoproteins) and haematological parameters in Brown Swiss cows housed in a naturally ventilated barn. Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral, (118), 222–242. https://doi.org/10.37000/abbsl.2026.118.15
14. Chen, X., Shu, H., Sun, F., Yao, J., & Gu, X. (2023). Impact of Heat Stress on Blood, Production, and Physiological Indicators in Heat-Tolerant and Heat-Sensitive Dairy Cows. Animals, 13(16), 2562. https://doi.org/10.3390/ani13162562
15. Lacetera, N., Bernabucci, U., Scalia, D., Basiricò, L., Morera, P., & Nardone, A. (2006). Heat Stress Elicits Different Responses in Peripheral Blood Mononuclear Cells from Brown Swiss and Holstein Cows. Journal of Dairy Science, 89(12), 4606–4612. https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72510-3
16. Mylostyvyi, R., Lesnovskay, O., Karlova, L., Khmeleva, O., Kalinichenko, O., Orishchuk, O., Tsap, S., Begma, N., Cherniy, N., Gutyj, B., & Izhboldina, O. (2021). Brown Swiss cows are more heat resistant than Holstein cows under hot summer conditions of the continental climate of Ukraine. Journal of Animal Behaviour and Biometeorology, 9(4), 1–8. DOI: https://doi.org/10.31893/jabb.21034
17. Lora, I., Calderone, C., Prussiani, L., Contiero, B., Malagoli, S., Lotto, A., & Cozzi, G. (2024). Reference limits for blood gas analysis performed from coccygeal vessels of multiparous Holstein dairy cows: Effects of stage of lactation and season of sampling. Journal of Dairy Science, 107(11), 9839–9846. https://doi.org/10.3168/jds.2024-24859
18. Mylostyva, D., Prudnikov, V., Kolisnyk, O., Lykhach, A., Begma, N., Kalinichenko, O., Khmeleva, O., Sanzhara, R., Izhboldina, O., & Mylostyvyi, R. (2022). Biochemical changes during heat stress in productive animals with an emphasis on the antioxidant defense system. Journal of Animal Behaviour and Biometeorology, 10(1), 2209. https://doi.org/10.31893/jabb.22009
19. Joo, S. S., Lee, S. J., Park, D. S., Kim, D. H., Gu, B.-H., Park, Y. J., Rim, C. Y., Kim, M., & Kim, E. T. (2021). Changes in Blood Metabolites and Immune Cells in Holstein and Jersey Dairy Cows by Heat Stress. Animals, 11(4), 974. https://doi.org/10.3390/ani11040974

20. Zachut, M., Kra, G., Nemes-Navon, N., Ben-Aharon, N., Moallem, U., Lavon, Y., & Jacoby, S. (2020). Seasonal heat load is more potent than the degree of body weight loss in dysregulating immune function by reducing white blood cell populations and increasing inflammation in Holstein dairy cows. Journal of Dairy Science, 103(11), 10809–10822. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18547
21. Cartwright, S. L., McKechnie, M., Schmied, J., Livernois, A. M., & Mallard, B. A. (2021). Effect of in-vitro heat stress challenge on the function of blood mononuclear cells from dairy cattle ranked as high, average and low immune responders. BMC Veterinary Research, 17(1). https://doi.org/10.1186/s12917-021-02940-8
22. Livernois, A. M., Mallard, B. A., Cartwright, S. L., & Cánovas, A. (2021). Heat stress and immune response phenotype affect DNA methylation in blood mononuclear cells from Holstein dairy cows. Scientific Reports, 11(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-89951-5
23. Scatà, M. C., Alhussien, M. N., Grandoni, F., Reale, A., Zampieri, M., Hussen, J., & De Matteis, G. (2024). Hyperthermia-induced changes in leukocyte survival and phagocytosis: a comparative study in bovine and buffalo leukocytes. Frontiers in Veterinary Science, 10. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1327148
24. Abbas, Z., Sammad, A., Hu, L., Fang, H., Xu, Q., & Wang, Y. (2020). Glucose Metabolism and Dynamics of Facilitative Glucose Transporters (GLUTs) under the Influence of Heat Stress in Dairy Cattle. Metabolites, 10(8), 312. DOI: https://doi.org/10.3390/metabo10080312
25. Alberghina, D., Amato, A., Brancato, G., Cavallo, C., Liotta, L., & Lopreiato, V. (2024). Impact of Heat Stress on the Balance between Oxidative Markers and the Antioxidant Defence System in the Plasma of Mid-Lactating Modicana Dairy Cows. Animals, 14(14), 2034. https://doi.org/10.3390/ani14142034
26. Farafonov, S., Yaremko, O., Gutyj, B., Cherniy, N., Kozyr, V., Lykhach, A., Skliarov, P., Khmeleva, O., Mylostyva, D., & Mylostyvyi, R. (2024). Functional activity of blood neutrophils and immune status of heifers under the influence of probiotics. Veterinarska Stanica, 56(1), 29–38. https://doi.org/10.46419/vs.56.1.8
27. Mylostyvyi, R., & Izhboldina, O. (2025). An Integrated Approach Using Temperature–Humidity Index, Productivity, and Welfare Indicators for Herd-Level Heat Stress Assessment in Dairy Cows. Animals, 15(22), 3341. https://doi.org/10.3390/ani15223341
28. Minias, P. (2019). Evolution of heterophil/lymphocyte ratios in response to ecological and life-history traits: A comparative analysis across the avian tree of life. Journal of Animal Ecology, 88(4), 554–565. Portico. https://doi.org/10.1111/1365-2656.12941
29. Mylostyvyi, R., Sejian, V., Izhboldina, O., Sanzhara, R., Chernenko, Olena, Dochkin, D., & Hoffmann, G. (2026). Changes in leukocyte indices of Holstein cows under prolonged heat stress conditions. Tropical Animal Health and Production, 58(2). https://doi.org/10.1007/s11250-026-04910-4
30. Mylostyvyi, R., Lacetera, N., Amadori, M., Sejian, V., Souza-Junior, J. B. F., & Hoffmann, G. (2023). The autumn low milk yield syndrome in Brown Swiss cows in continental climates: hypotheses and facts. Veterinary Research Communications, 48(1), 203–213. https://doi.org/10.1007/s11259-023-10203-0
31. Hašková, V., Kašlík, J., Říha, I., Matl, I., & Rovenský, J. (1978). Simple Method of Circulating Immune Complex Detection in Human Sera by Polyethylene Glycol Precipitation. Zeitschrift Für Immunitätsforschung: Immunobiology, 154(4), 399–406. https://doi.org/10.1016/s0340-904x(78)80012-8
32. Vlizlo, V.V., Fedorchuk R.S., Ratych I.B. et al. (2012). Laboratory methods of research in biology, animal husbandry and veterinary medicine: a handbook. Lviv. SPOLOM (in Ukrainian).
33. Alhussien, M. N., Hussen, J., & De Matteis, G. (2024). Editorial: Heat stress and immune responses in livestock: current challenges and intervention strategies. Frontiers in Veterinary Science, 11. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1366274

34. Blond, B., Majkić, M., Spasojević, J., Hristov, S., Radinović, M., Nikolić, S., Anđušić, L., Čukić, A., Došenović Marinković, M., Vujanović, B. D., Obradović, N., & Cincović, M. (2024). Influence of Heat Stress on Body Surface Temperature and Blood Metabolic, Endocrine, and Inflammatory Parameters and Their Correlation in Cows. Metabolites, 14(2), 104. https://doi.org/10.3390/metabo14020104
35. Lemal, P., May, K., König, S., Schroyen, M., & Gengler, N. (2023). Invited review: From heat stress to disease—Immune response and candidate genes involved in cattle thermotolerance. Journal of Dairy Science, 106(7), 4471–4488. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22727
36. Koch, F., Otten, W., Sauerwein, H., Reyer, H., & Kuhla, B. (2023). Mild heat stress–induced adaptive immune response in blood mononuclear cells and leukocytes from mesenteric lymph nodes of primiparous lactating Holstein cows. Journal of Dairy Science, 106(4), 3008–3022. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22520
37. Kim, W.-S., Nejad, J. G., Park, K.-K., & Lee, H.-G. (2023). Heat Stress Effects on Physiological and Blood Parameters, and Behavior in Early Fattening Stage of Beef Steers. Animals, 13(7), 1130. https://doi.org/10.3390/ani13071130
38. Barnes, T. L., Burrack, R. M., Schmidt, T. B., Petersen, J. L., & Yates, D. T. (2021). Sustained heat stress elevated corneal and body surface temperatures and altered circulating leukocytes and metabolic indicators in wether lambs supplemented with ractopamine or zilpaterol. Journal of Animal Science, 99(9). https://doi.org/10.1093/jas/skab236
39. Park, D. S., Gu, B.-H., Park, Y. J., Joo, S. S., Lee, S.-S., Kim, S.-H., Kim, E. T., Kim, D. H., Lee, S. S., Lee, S. J., Kim, B.-W., & Kim, M. (2021). Dynamic changes in blood immune cell composition and function in Holstein and Jersey steers in response to heat stress. Cell Stress and Chaperones, 26(4), 705–720. https://doi.org/10.1007/s12192-021-01216-2
40. Tejaswi, V., Balachander, B., Samad, H. A., Sarkar, M., Maurya, V. P., & Singh, G. (2020). Assessment of heat stress induced alterations in polymorphonuclear (PMN) cell activity in native and crossbred cows. Journal of Applied Animal Research, 48(1), 549–552. https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1829629
41. Mayengbam, P, Upadhyay, R. C., Tolenkhomba, T. C. (2021). Acute thermal exposure increases neutrophil-lymphocyte ratio of Sahiwal heifers. Journal of Entomology and Zoology Studies, 9(2),240–243.
42. Das, P., Alex, R., Gowane, G. R., Vohra, V., Paul, D., Khan, K. D., Upadhyay, A., De, S., & Ludri, A. (2024). Chronic heat stress upregulates pyruvate metabolic process and gluconeogenesis but downregulates immune responses in Sahiwal cattle. International Journal of Biometeorology, 69(1), 195–208. https://doi.org/10.1007/s00484-024-02804-4

Стаття надійшла до редакції 15.07.2026
Стаття пройшла рецензування 16.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

УДК 355.1:636.7:159.9
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.17

Анатолій Сабодаш,
викладач кафедри забезпечення державної безпеки
Національна академія Національної гвардії України м. Харків, Україна,
ORCID ID:0009-0001-0267-6405
email: aasabodash@gmail.com

Ігор Ніколенко,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри генетики, розведення та годівлі сільськогосподарських тварин
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна,
ORCID ID:0000-0002-8581-4569
e-mail: igor.nikolenko.87@ukr.net

Світлана Косенко,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри технології виробництва та переробки продукції тваринництва
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-2946-6010
e-mail: kosenkosu@ukr.net

Олег Головань,
кандидат військових наук, доцент, начальник кафедри забезпечення державної безпеки
Національної академії Національної гвардії України, м. Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-7290-8021
e-mail: oleggolovan@ukr.net

Денис Скорик,
викладач кафедри забезпечення державної безпеки
Національної академії Національної гвардії України м. Харків, Україна
ORCID ID: 0009-0007-3171-2069
e-mail: skorikdenis229@gmail.com

КАНІСТЕРАПІЯ ЯК ЕЛЕМЕНТ ПСИХОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РЕАБІЛІТАЦІЇ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ У СИСТЕМІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

Анотація

Здійснено комплексний науково-методичний аналіз каністерапії як допоміжного напряму функціонального використання службових собак у системі психологічного забезпечення та реабілітації військовослужбовців Національної гвардії України. Розкрито

теоретичні передумови інтеграції каністерапії у відомчу практику сил безпеки та оборони з урахуванням специфіки службово-бойової діяльності, високої інтенсивності психоемоційних навантажень та особливостей адаптаційних процесів особового складу в умовах тривалого стресового впливу.

Обґрунтовано психоемоційні та психофізіологічні механізми позитивного впливу взаємодії людини із собакою, зокрема ефекти емоційної стабілізації, зниження рівня тривожності, нормалізації функціонального стану нервової системи та підвищення адаптаційних можливостей військовослужбовців. Визначено роль службової собаки як специфічного соціально-психологічного чинника, здатного виступати елементом емоційної підтримки, каталізатором комунікативної активності та фактором формування позитивного психологічного фону в реабілітаційному середовищі.

Особливу увагу приділено критеріям відбору службових собак для терапевтичної взаємодії, включаючи поведінкові, психофізіологічні та ветеринарно-санітарні показники [3; 6]. Систематизовано вимоги до спеціальної підготовки собак, що передбачає формування стабільних моделей врівноваженої, прогнозованої та соціально орієнтованої поведінки в умовах підвищеної варіативності зовнішніх подразників. Окреслено організаційні засади застосування каністерапії у підрозділах Національної гвардії України, зокрема принципи міждисциплінарної взаємодії кінологічних, психологічних та медичних служб.

Висвітлено безпекові та етичні аспекти використання службових собак у реабілітаційних заходах, акцентовано на необхідності дотримання регламентованих режимів навантаження, контролю функціонального стану тварин та забезпечення безпеки учасників терапевтичного процесу. Доведено перспективність каністерапії як складової комплексних програм психологічного відновлення та реадаптації військовослужбовців після впливу бойових стрес-факторів, що відповідає сучасним підходам до вдосконалення системи морально-психологічного забезпечення у військових формуваннях.

Ключові слова: *каністерапія, службові собаки, психологічне забезпечення, реабілітація, військовослужбовці, стрес, Національна гвардія України.*

Вступ. Службово-бойова діяльність підрозділів Національної гвардії України здійснюється в умовах підвищеної складності, невизначеності та постійного впливу стресогенних факторів. Виконання завдань за призначенням, пов’язаних із ризиком для життя, високою відповідальністю, тривалими психофізичними навантаженнями та емоційною напругою, об’єктивно формує значне навантаження на психіку військовослужбовців [1; 7]. Участь у бойових діях, чергування в районах із нестабільною безпековою ситуацією, наслідки втрат, поранень і тривалої дії бойового стресу обумовлюють необхідність системного вдосконалення механізмів психологічного забезпечення та відновлення особового складу [1; 2; 7].

Традиційні підходи до психологічної підтримки, що застосовуються у військових формуваннях, безумовно залишаються базовими та необхідними, однак сучасна практика свідчить про доцільність доповнення їх інноваційними та міждисциплінарними методами [2; 7]. Особливої актуальності набувають засоби, здатні забезпечувати м’який, ненав’язливий та водночас ефективний психоемоційний вплив, спрямований на зниження рівня тривожності, стабілізацію емоційного стану та підвищення адаптаційних можливостей військовослужбовців [1; 2]. У цьому контексті каністерапія розглядається як

перспективний допоміжний інструмент, що поєднує потенціал службової кінології та сучасних реабілітаційних технологій [3; 9].

Каністерапія, як різновид анімалотерапії, базується на цілеспрямованій взаємодії людини із спеціально відібраними та підготовленими собаками [3; 4]. На відміну від традиційного використання службових собак у системі НГУ, де їх функціональне призначення зосереджене на виконанні оперативно-службових та бойових завдань, каністерапія передбачає гуманітарний та психокорекційний вектор застосування тварин [3; 6]. Такий підхід дозволяє розширити уявлення про функціональні можливості кінологічних підрозділів, інтегруючи їх ресурс у систему психологічного забезпечення та реабілітації особового складу [6; 7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Актуальність дослідження каністерапії у військовому середовищі обумовлюється зростанням психоемоційних навантажень на військовослужбовців, особливо в умовах тривалого збройного протистояння [1; 7]. Психологічні наслідки бойового стресу, адаптаційні труднощі після виконання завдань у районах ведення бойових дій, а також потреба у підтриманні належного морально-психологічного стану особового складу вимагають пошуку додаткових ефективних методів впливу [1; 2; 7]. При цьому особливого значення набувають безпечні, ресурсно-орієнтовані та психопрофілактичні інструменти, що можуть бути органічно інтегровані у відомчу систему забезпечення [2; 7].

У наукових дослідженнях, присвячених проблематиці анімалотерапії, доведено, що взаємодія людини із собакою здатна чинити позитивний психофізіологічний ефект, який проявляється у зниженні рівня стресу, нормалізації емоційного стану, покращенні соціальної активності та формуванні позитивного психологічного фону [3; 8; 9]. Контакт із твариною активізує механізми емоційної регуляції, сприяє зменшенню проявів тривожності та напруження, а також позитивно впливає на мотиваційну та комунікативну сферу особистості [3; 8]. Водночас, незважаючи на наявність значної кількості наукових праць у галузі психології та медицини, питання системного впровадження каністерапії у практику військових формувань, зокрема у діяльність кінологічних підрозділів НГУ, залишаються недостатньо дослідженими [6; 7].

Специфіка військової служби, особливості організації службово-бойової діяльності, підвищені вимоги до безпеки та дисципліни, а також функціональна спрямованість службових собак потребують окремого науково-методичного обґрунтування можливостей та умов використання каністерапії у відомчому середовищі [6; 7]. Це зумовлює необхідність комплексного аналізу потенціалу службових собак як засобу психоемоційної підтримки, визначення критеріїв їх придатності до терапевтичної роботи та розроблення організаційних підходів до інтеграції каністерапії у систему психологічного забезпечення НГУ [3; 6; 7].

Таким чином, дослідження каністерапії у контексті діяльності Національної гвардії України є актуальним як у науковому, так і в практичному вимірах, оскільки відкриває можливості для розширення інструментарію

психологічної підтримки та підвищення ефективності реабілітаційних заходів щодо особового складу [2; 7; 9].

Огляд наукових джерел з проблематики анімал-асистованих інтервенцій (AAI), зокрема каністерапії, засвідчує сталу тенденцію до розширення доказової бази щодо її ефективності у сфері психічного здоров'я та реабілітації осіб, які зазнали впливу інтенсивних стресорів [3; 9]. У працях із клінічної психології, психіатрії та реабілітаційної медицини каністерапію найчастіше описують як структуровану форму взаємодії людини з собакою, що здійснюється за визначеним протоколом та під контролем фахівця і спрямована на досягнення конкретних психокорекційних/реабілітаційних цілей [3; 4]. Систематизація цих підходів дозволяє виокремити дві ключові лінії досліджень: вивчення психофізіологічних та психологічних механізмів впливу взаємодії з собакою та оцінювання організаційних моделей та умов, за яких інтервенція є безпечною, керованою і відтворюваною [3; 4; 9].

У межах першої лінії дослідники пояснюють позитивний ефект каністерапії поєднанням біопсихосоціальних механізмів. По-перше, підкреслюється роль емоційної регуляції: контакт із собакою знижує інтенсивність негативного афекту, полегшує переживання тривоги та напруження, сприяє формуванню суб'єктивного відчуття підтримки й безпеки [3; 8]. По-друге, у фокусі уваги перебуває сенсорна складова (тактильна та пропріоцептивна стимуляція), що асоціюється з ефектом «заспокоєння» і підвищенням здатності до самоконтролю [3]. По-третє, вказується на соціально-поведінкові механізми: собака виступає «соціальним каталізатором», спрощує ініціювання комунікації, знижує бар'єри недовіри та сприяє відновленню соціальної активності [8]. Окремі публікації звертають увагу на те, що для груп з досвідом бойових травматичних подій каністерапевтична взаємодія може мати додаткову цінність як безпечний формат «контакту без оцінювання», який підсилює готовність до участі в інших психореабілітаційних заходах [8; 9].

Друга лінія досліджень — організаційно-методична — акцентує, що каністерапія демонструє найкращі результати за умови стандартизованого планування та чіткої ролі кожного учасника процесу [3; 9]. У публікаціях наголошується на принциповій відмінності між «довільним спілкуванням з собакою» та терапевтичною інтервенцією: каністерапія потребує визначення показань/обмежень, формулювання цілей (коротко- і середньострокових), вибору форми роботи (індивідуальна/групова), критеріїв оцінювання динаміки та процедур безпеки [3; 4; 9]. Важливо, що собака має бути не лише соціально надійною, а й підготовленою до типових подразників терапевтичного середовища (неочікувані рухи, нестандартні звуки, медичне обладнання, емоційні реакції людини) [3; 6]. У сучасних підходах також підкреслюється необхідність контролю навантаження тварини та моніторингу її добробуту як критичної умови сталості програми [3; 5; 6]..

В контексті сил безпеки та оборони, наукові огляди та прикладні публікації (військова психологія, кризова допомога, реабілітація) пропонують розглядати

каністерапію як допоміжний компонент багаторівневої системи психологічного забезпечення, а не як автономний засіб «лікування» [2; 7; 9]. Для військового середовища особливо значущими є такі ефекти, як зниження гострої напруги після виконання завдань, покращення сну та відновлюваності, підвищення прихильності до реабілітаційних програм, а також профілактика емоційного вигорання в підрозділах із тривалими бойовими навантаженнями [1; 2; 7; 8; 9]. Окремо підкреслюється, що каністерапевтичні практики можуть бути корисними на етапах психологічної декомпресії, реадаптації, у стаціонарній та амбулаторній реабілітації, а також у програмах підтримки сімей військовослужбовців — за умови відповідної регламентації [2; 3; 7; 9].

Для Національної гвардії України актуальність проблематики посилюється тим, що НГУ має розвинену систему службової кінології та водночас виконує широкий спектр завдань у високостресових умовах [6; 7]. Це створює передумови для практикоорієнтованої інтеграції каністерапії як спеціалізованого напряму діяльності, що базується на ресурсах кінологічних підрозділів, але реалізується у тісній координації з психологічною та медичною службами [2; 6; 7]. Аналіз публікацій дозволяє сформулювати ключові організаційно-методичні положення, релевантні для НГУ [3; 4; 6; 7; 9]:

Модель міжслужбової взаємодії. Каністерапія у військовій організації має здійснюватися командно-управлінським рішенням і функціонувати як узгоджений процес: психолог визначає запит, протипоказання та цілі, кінолог забезпечує керованість і безпеку взаємодії, медичний персонал (за потребою) контролює соматичні ризики [2; 3; 6; 7].

Відбір і допуск собак. Не всі службові собаки придатні для терапевтичних контактів; необхідні стандартизовані критерії оцінювання (соціальна надійність, стресостійкість, толерантність до доторку, прогнозованість реакцій) та ветеринарний допуск [3; 4; 6]. Визначальними умовами допуску тварини до каністерапевтичної взаємодії є поведінкова стабільність, відсутність виражених страхових або агресивних реакцій, здатність до контрольованої соціальної поведінки та відповідність ветеринарно-санітарним вимогам [3; 5; 6].

1. Протоколювання та оцінювання результатів. Дослідження у сфері анімал-асистованих інтервенцій підкреслюють доцільність системного документування каністерапевтичних сесій, що забезпечує керованість, відтворюваність та можливість об’єктивного аналізу ефективності втручань [3; 4; 9]. Ведення коротких протоколів занять (визначення цілі, формату взаємодії, тривалості, фіксація поведінкових та емоційних реакцій людини і собаки, формулювання подальших рекомендацій) дозволяє стандартизувати процедури та мінімізувати суб’єктивізм у оцінюванні результатів [2; 3].

Для моніторингу динаміки психоемоційного стану військовослужбовців доцільним є використання простих та оперативних індикаторів, зокрема самооцінки рівня напруги, тривожності, емоційного фону, якості сну та загального самопочуття [1; 2; 9]. Такий підхід відповідає сучасним принципам

психологічного супроводу, за яких оцінювання ефективності інтервенцій має бути регулярним, ненавантажувальним для учасників та придатним до застосування у службовому середовищі [2; 7].

2. Безпека та ризик-менеджмент. Наукові та прикладні публікації з проблематики анімал-асистованих інтервенцій акцентують увагу на необхідності системного врахування потенційних ризиків, пов'язаних із залученням собак до терапевтичної взаємодії [3; 4; 9]. До найбільш поширених факторів ризику належать індивідуальні алергічні реакції учасників, наявність кінофобії, можливі загострення психоемоційних або психічних станів, перевтома чи стрес тварини, а також порушення встановлених правил поводження із службовою собакою [1; 3; 8].

У сучасних методичних підходах підкреслюється, що профілактика зазначених ризиків повинна мати комплексний та регламентований характер. Зокрема, до базових превентивних заходів відносять попередній скринінг учасників каністерапевтичних занять, проведення обов'язкового інструктажу щодо правил взаємодії з твариною, контроль просторової дистанції та поведінки під час сесії, наявність чітко визначених алгоритмів припинення заняття або евакуації у разі виникнення небажаних реакцій, а також дотримання ветеринарно-санітарних і гігієнічних вимог [3; 5; 6; 9].

Для умов військового середовища питання безпеки набувають особливої ваги, оскільки будь-які організаційні або поведінкові відхилення можуть створювати додаткові психоемоційні навантаження як для особового складу, так і для службових собак. У зв'язку з цим ризик-менеджмент у каністерапії має розглядатися як обов'язковий елемент методичного та організаційного забезпечення, що передбачає постійний контроль стану учасників і тварин, прогнозування можливих ускладнень та своєчасну корекцію умов проведення занять [6; 7].

3. *Підготовка персоналу.* Ефективність каністерапевтичних програм безпосередньо пов'язується з наявністю підготовлених фахівців, здатних забезпечити методичну обґрунтованість, безпеку та прогнозованість терапевтичної взаємодії [3; 4; 9]. У наукових джерелах підкреслюється, що залучення службових собак до реабілітаційних заходів потребує не лише відповідної підготовки тварин, але й формування спеціалізованих професійних компетенцій у персоналу, який бере участь у реалізації таких програм [2; 3].

До ключових вимог відносять підготовку кінологів, які повинні володіти навичками роботи в умовах терапевтичного або реабілітаційного середовища, розуміти особливості психоемоційних станів військовослужбовців, дотримуватися алгоритмів безпечної взаємодії та контролювати поведінку службової собаки в нестандартних ситуаціях [3; 6]. Водночас психологи мають володіти методикою постановки терапевтичних цілей, організації структури занять, інтерпретації поведінкових та емоційних реакцій учасників, а також оцінювання ефективності проведених інтервенцій [1; 2; 3].

Міждисциплінарний характер каністерапії зумовлює необхідність узгодженої підготовки персоналу, що передбачає формування спільного розуміння завдань, процедур безпеки та принципів організації занять. Такий підхід забезпечує цілісність терапевтичного процесу, знижує ймовірність помилок у взаємодії та підвищує стабільність очікуваних психокорекційних ефектів у військовому середовищі [6; 7; 9].

4. *Постановка терапевтичних цілей і ведення інтервенцій.* У сучасних наукових підходах наголошується, що результативність каністерапії визначається не лише характеристиками залучених собак, але й рівнем професійної підготовки фахівців, які організовують та реалізують терапевтичну взаємодію [3; 4; 9]. Ключового значення набувають компетентності персоналу у сфері постановки терапевтичних цілей, вибору адекватних форм і методів роботи, а також забезпечення керованості та безпечності інтервенцій [2; 3].

Психологічний супровід каністерапевтичних заходів передбачає чітке визначення очікуваних психокорекційних або психопрофілактичних ефектів, урахування індивідуальних особливостей військовослужбовців та систематичне оцінювання динаміки їх психоемоційного стану [1; 2]. Ведення інтервенцій має здійснюватися з дотриманням принципів наукової обґрунтованості, етичності та міждисциплінарної узгодженості, що забезпечує стабільність та прогнозованість результатів у реабілітаційному середовищі [3; 7; 9].

Таким чином, аналіз останніх досліджень та публікацій підтверджує науково обґрунтовану доцільність використання каністерапії як допоміжного інструменту у системі психологічного забезпечення військовослужбовців [3; 8; 9]. Водночас для впровадження у практику НГУ ключовими є не лише загальні твердження про «користь взаємодії з собакою», а й чітко визначені організаційно-методичні рамки: критерії відбору собак, підготовка персоналу, протоколи безпеки, механізми координації та оцінювання результатів [2; 6; 7; 9]. 244ighlig складові створюють підґрунтя для переходу від поодиноких ініціатив до системної, керованої та відтворюваної практики в підрозділах Національної гвардії України [9].

Метою наших досліджень було дослідити ефективність використання кінологічних підрозділів Національної гвардії України в напрямку реабілітаційних та терапевтичних заходів у медичних установах та реабілітаційних центрах України.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження проводились в умовах медичного центру «Nova clinic» (м. Дніпро). У дослідженні взяли участь 10 військовослужбовців Національної гвардії України віком від 24 до 46 років, які проходили курс психологічної та фізичної реабілітації після виконання службово-бойових завдань, а також 7 службових собак порід німецька та бельгійська вівчарки, попередньо підготовлених до участі в терапевтичних заходах. Предмет досліджень – психологічний стан та фізіологічні показники

пацієнтів, а також психологічний стан та фізіологічні показники собак-каністерапевтів.

Методологічну основу дослідження сформовано з урахуванням специфіки службово-бойової діяльності Національної гвардії України та особливостей функціонування кінологічних підрозділів у структурі сил безпеки і оборони. Дослідження базується на поєднанні загальнонаукових і спеціальних методів, що дозволило комплексно оцінити потенціал каністерапії як допоміжного інструменту психологічного забезпечення та реабілітації військовослужбовців.

У процесі роботи використано такі загальнонаукові методи:

- теоретичний аналіз – для вивчення наукових підходів до анімалотерапії, психологічної реабілітації та застосування службових собак у гуманітарних практиках;

- узагальнення та систематизація – з метою структурування наявних даних щодо психоемоційного впливу взаємодії людини із собакою;

- порівняльний аналіз – для зіставлення традиційних напрямів використання службових собак із терапевтичними формами взаємодії;

- інтерпретація наукових та прикладних джерел – для адаптації існуючих теоретичних положень до умов діяльності НГУ.

Емпіричну складову дослідження зорієнтовано на практичні аспекти функціонування кінологічного забезпечення у військовому середовищі. В якості матеріалів дослідження використано:

- результати спостережень за поведінкою службових собак у процесі взаємодії з особовим складом;

- узагальнені дані щодо психоемоційних реакцій військовослужбовців у стресогенних умовах;

- досвід організації заходів психологічної підтримки у військових колективах;

- нормативно-методичні положення, що регламентують утримання, підготовку та використання службових собак.

Важливим методичним принципом став міждисциплінарний підхід, який передбачає інтеграцію положень військової психології, службової кінології, етології та реабілітаційних практик. Такий підхід дозволив розглядати каністерапію не лише як психокорекційний інструмент, але й як елемент системи морально-психологічного забезпечення військової діяльності.

З метою врахування особливостей службового середовища застосовано:

- структурно-функціональний метод – для визначення місця каністерапії у системі забезпечення діяльності кінологічних підрозділів;

- поведінковий аналіз – для оцінювання придатності службових собак до терапевтичної взаємодії;

- експертне узагальнення практичного досвіду – із залученням фахівців кінологічного та психологічного профілю;

- контекстний аналіз службової діяльності – для адаптації терапевтичних методик до умов військової служби.

Дослідження має теоретико-прикладний характер і спрямоване на формування науково обґрунтованих підходів до можливого використання каністерапії у практиці Національної гвардії України. Обрані методи забезпечили можливість комплексного розгляду проблематики, врахування як поведінкових характеристик службових собак, так і психологічних особливостей військовослужбовців.

Практика застосування кінологічними підрозділами службових собак з метою реабілітації військовослужбовців запроваджена в Україні з 2023 року. Подібні заходи застосовують у реабілітаційних центрах місць Суми, Шостка, Дніпро, Харків. Відвідування цих закладів відбувається раз на тиждень. Програма анімалотерапії включає два блоки: візуальний (пацієнти спостерігають за роботою собак та кінологів) (рис. 1) та тактильний (безпосередній контакт пацієнтів зі службовими собаками) (рис. 2).

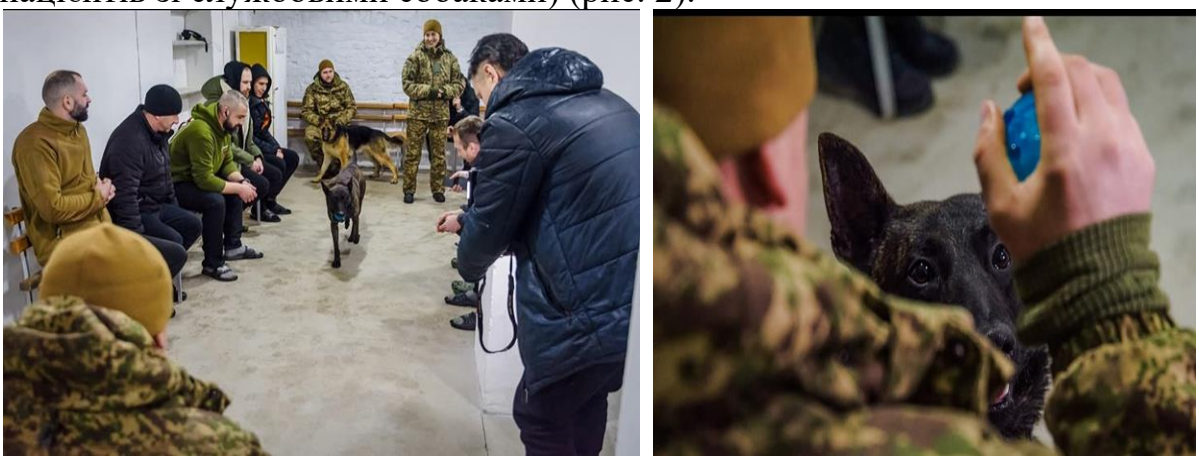


Рис. 1. Візуальний блок сеанса каністерапії: спостереження за роботою службових собак (фото авторське)





Рис. 2. **Тактильний блок сеанса каністерапії: безпосередній контакт із собаками (фото авторське)**

Проведений теоретично-прикладний аналіз можливостей використання каністерапії у системі психологічного забезпечення Національної гвардії України дозволив встановити її потенційну ефективність як допоміжного інструменту впливу на психоемоційний стан військовослужбовців. Отримані результати свідчать, що систематична та методично контрольована взаємодія особового складу зі службовими собаками здатна формувати низку позитивних психологічних ефектів, які мають практичне значення для службово-бойової діяльності та реабілітаційних процесів.

Зокрема, визначено, що одним із найбільш виражених ефектів каністерапії є зниження психоемоційної напруги, яке проявляється у зменшенні суб'єктивного відчуття тривожності, внутрішнього дискомфорту та нервово-психічного перевантаження. Такий результат обумовлюється природними механізмами емоційного реагування людини на контакт із твариною, що супроводжується формуванням позитивних емоційних переживань та зниженням рівня стресових реакцій.

Важливим наслідком взаємодії із собакою є також стабілізація емоційного стану військовослужбовців. Участь у каністерапевтичних заходах сприяє вирівнюванню емоційного фону, зменшенню проявів дратівливості, емоційної лабільності та напруженості. Для військового середовища цей аспект має особливе значення, оскільки стабільність емоційних реакцій безпосередньо

впливає на якість прийняття рішень, міжособистісну взаємодію та ефективність виконання завдань.

Під час проведення сеансу каністерапії було досліджено динаміку артеріального тиску у пацієнтів медичного центру. Слід зазначити, що для участі в дослідженні було обрано військовослужбовців, у яких спостерігався стан тривожності, емоційного збудження та нервової напруги, внаслідок чого артеріальний тиск був стабільно підвищеним. При дослідженні динаміки артеріального тиску пацієнтів під час сеансу каністерапії отримано наступні дані (табл. № 1).

Як свідчать дані таблиці 1, показники систолічного/діастолічного артеріального тиску військовослужбовців під час сеансу каністерапії після першого (візуального) блоку знизились у всіх учасників експерименту в середньому на 4,8/3,4, а після другого (тактильного) блоку – на 5,4/2,6 у порівнянні з показниками після першого блоку та на 10,2/6,0 у порівнянні з показниками на початок експерименту та максимально наблизились до норми. Під час експерименту спостерігалось формування сприятливого психологічного фону, а саме: підвищення загального рівня психологічного комфорту, покращення настрою та зменшення проявів емоційного виснаження. Такий ефект є особливо актуальним для військовослужбовців, які тривалий час перебувають у напружених або стресогенних умовах службово-бойової діяльності.

Таблиця 1

Динаміка артеріального тиску пацієнтів під час сеансу каністерапії

№з/п	Вік, років	Показники тиску		
		на початку сеансу	після 1 блоку	після 2 блоку
1	26	142/88	136/84	130/82
2	34	138/86	134/82	128/80
3	29	140/90	135/86	129/82
4	41	146/92	140/88	134/84
5	37	135/84	131/82	126/80
6	24	132/82	128/80	124/78
7	46	148/94	142/90	136/86
8	39	139/87	134/84	129/82
9	31	136/85	132/82	127/80
10	28	134/84	130/80	125/78
В середньому		139,0±1,63/87,2±1,21	134,2±1,37/83,8/1,05	128,8±1,2/81,2±0,8

Також виявлено, що взаємодія із собакою сприяє активізації комунікативної поведінки. Присутність тварини у процесі психологічної роботи виступає своєрідним соціальним каталізатором, що полегшує встановлення

контактів, знижує психологічні бар'єри у спілкуванні та стимулює міжособистісну взаємодію. У військових колективах це може сприяти покращенню соціально-психологічного клімату та підвищенню згуртованості підрозділів.

Окремо слід відзначити ефект підвищення мотивації до відновлення та реабілітації, який проявляється у зростанні зацікавленості військовослужбовців у терапевтичних та реабілітаційних заходах. Позитивні емоційні переживання, пов'язані з контактом із собакою, формують додатковий ресурс психічної активності, що має важливе значення у процесах психологічної адаптації та відновлення після впливу травматичних чинників.

Результати та їх обговорення. Результати дослідження підтверджують, що ключовою умовою ефективності каністерапії у системі НГУ є правильний відбір службових собак, придатних до терапевтичної роботи. Визначальними характеристиками виступають врівноваженість поведінки, відсутність агресивних або боязких реакцій, стійкість до зовнішніх подразників та високий рівень керованості. Встановлено, що саме поведінкова стабільність собаки є критичним фактором безпеки та прогнозованості терапевтичного процесу.

В результаті досліджень динаміки пульсу службових собак отримали наступні дані (табл. № 2).

Як свідчать дані таблиці 2, частота серцевих скорочень службових собак на початку сеансу каністерапії становила в середньому 110,7 уд/хв, тоді як у стані спокою вона дорівнює 60-90 уд/хв, що може бути пов`язане із дорогою. Після першого блоку спостерігалось незначне підвищення ЧСС, що також, вірогідно, пов`язане з фізичним та психічним навантаженням під час виконання команд. Але вже після другого блоку спостерігали помітне зниження ЧСС, тобто відбувається адаптаційна стабілізація. Отже, можна констатувати, що тактильний контакт з пацієнтами сприяє активації парасимпатичної регуляції.

Таблиця 2

Динаміка частоти серцевих скорочень службових собак під час сеансу каністерапії

№з/п	Вік, років	Показники тиску		
		на початку сеансу	після 1 блоку	після 2 блоку
1	3	120	122.5	90
2	4	130	130	95
3	5	100	105	80
4	6	105	107.5	78
5	4	110	112.5	85
6	7	95	100	75
7	5	115	117.5	88
В середньому		110,7±11,2	113,6±9,7	84,4±6,6

Водночас підготовка собак для каністерапії повинна враховувати специфіку умов, у яких проводяться заняття. До таких умов належать

нестандартні сенсорні подразники, медичне обладнання, особливості поведінки та емоційного стану військовослужбовців. Підготовчий процес має бути спрямований на формування стійких моделей соціально орієнтованої поведінки, толерантності до тактильного контакту та адаптивності до змін середовища.

Встановлено, що застосування каністерапії у військовому середовищі має низку характерних особливостей. Службові собаки сприймаються особовим складом не лише як тварини, а і як елемент професійної діяльності, що істотно підвищує рівень довіри та психологічного прийняття. Такий феномен сприяє більш ефективному встановленню емоційного контакту та підсилює терапевтичний ефект взаємодії.

Разом із тим результати дослідження свідчать про необхідність чіткої регламентації організаційних процедур каністерапії у НГУ. Це передбачає визначення функціональних обов'язків кінологів, психологів та медичних працівників, дотримання вимог безпеки, ветеринарно-санітарного контролю та недопущення факторів ризику як для особового складу, так і для собак.

Особливу увагу приділено питанню фізіологічного та психоемоційного навантаження на собак. Встановлено, що терапевтична діяльність, незважаючи на її гуманітарну спрямованість, може виступати стресогенним чинником для непідготовленої тварини. У зв'язку з 250ighligh'язковою умовою є контроль тривалості занять, режимів роботи та відпочинку, а також моніторинг поведінкових і фізіологічних показників собаки.

Пропозиції та напрями для подальших досліджень. Таким чином, отримані результати дозволяють розглядати каністерапію як перспективний напрям удосконалення системи психологічного забезпечення та реабілітації військовослужбовців НГУ за умови її науково-методичного, організаційного та нормативного забезпечення.

Висновки. Проведений аналіз теоретичних підходів та практичних аспектів використання службових собак у реабілітаційних заходах дозволяє сформулювати низку узагальнених положень, що мають значення для системи Національної гвардії України.

Каністерапія у військовому середовищі може розглядатися як науково обґрунтований та практично доцільний допоміжний метод психологічної підтримки військовослужбовців. Її застосування сприяє зниженню психоемоційної напруги, стабілізації артеріального тиску, формуванню позитивного психологічного фону та покращенню адаптаційних механізмів особистості. Особливої актуальності цей напрям набуває в умовах тривалого впливу бойових стрес-факторів.

Результативність каністерапії безпосередньо залежить від якості відбору та підготовки службових собак. Визначальними чинниками придатності собак є врівноваженість нервової діяльності, стресостійкість, прогнозованість поведінки та висока керованість. Доведено, що для підготовлених собак сеанси каністерапії сприяють стабілізації частоти серцевих скорочень.

Інституціоналізація каністерапії у системі НГУ повинна здійснюватися у межах комплексних програм психологічного забезпечення та морально-психологічної підтримки особового складу.

Організація заходів каністерапії потребує обов'язкового дотримання ветеринарно-санітарних та безпекових вимог. Контроль стану тварин і регламентація режимів їх використання є необхідними умовами ефективності та безпечності терапевтичного процесу.

У цілому каністерапія становить перспективний напрям розвитку функціональних можливостей службової кінології НГУ та відповідає сучасним тенденціям удосконалення системи психологічного забезпечення військової діяльності.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

5. Бойко А. (2024). Психологічні особливості перебування особистості в екстремальних умовах. *Наукові інновації та передові технології*, 10 (38). С. 806–818. https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-10(38)-806-818
6. Корнієнко В. В., Шевяков О. В., Сергієні О. В. Соціальнопсихологічна реабілітація особистості: навч. Посібник. Дніпро : ДДУВС, 2023. 56 с.
7. Fine, A. H. (2019). *Handbook on Animal-Assisted Therapy. Foundations and Guidelines for Animal-Assisted Interventions* (5th ed.). San Diego: Academic Press.
8. Kruger, K. A., & Serpell, J. A. (2019). Animal-assisted interventions in mental health: Definitions and theoretical foundations. In: Fine A. H. (Ed.). *Handbook on Animal-Assisted Therapy* (pp. 21-38). San Diego: Academic Press.
9. *Про ветеринарну медицину та благополуччя тварин*. (2025). Закон України № 4718-IX від 16.12.2025. Взято з https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1206-20#
10. *Про затвердження Інструкції з організації службової кінології в Національній гвардії України* (2014). Наказ МВС від 05.08.2014 № 772. Взято з https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1213-14
11. Сподар, Я. Б. (Ред.). 2021. Бойові документи морально-психологічного забезпечення виконання службово-бойових завдань силами Національної гвардії України: навч. Посіб. Харків: НА НГУ. Взято з https://repository.nangu.uk/handle/123456789/485
12. Friedmann, E., Son, H., & Saleem, M. (2015). The animal-human bond: Health and wellness. In A. H. Fine (Ed.), *Handbook on animal-assisted therapy: Foundations and guidelines for animal-assisted interventions* (4th ed., pp. 73–88). Elsevier Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801292-5.00007-9
13. Kamioka, H., Okada, S., Tsutani, K., Park, H., Okuizumi, H., Handa, S. … Mutoh, Y. (2014). Effectiveness of animal-assisted therapy: A systematic review of randomized controlled trials. *Complementary Therapies in Medicine*, 22 (2), 371-390. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK241827/ .

Anatoliy Sabodash,
Lecturer Department of State Security
National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv,
ORCID ID: 0009-0001-0267-6405
e-mail: aasabodash@gmail.com

Ihor Nikolenko,
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Genetics, Breeding and Feeding of Farm Animals,
Odesa State Agrarian University, Odesa,
ORCID ID: 0000-0002-8581-4569
e-mail: igor.nikolenko.87@ukr.net

Svitlana Kosenko,
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies for the production and processing of livestock products,
Odesa State Agrarian University, Odesa,
ORCID ID: 0000-0002-2946-6010
e-mail: kosenkosu@ukr.net

Oleh Holovan,
Candidate of Military Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of State Security,
National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-7290-8021
e-mail: oleggolovan@ukr.net

Denys Skoryk,
Lecturer at the Department of State Security,
National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID: 0009-0007-3171-2069
email: skorikdenis229@gmail.com

CANINE-ASSISTED THERAPY AS AN ELEMENT OF PSYCHOLOGICAL SUPPORT AND REHABILITATION OF SERVICEMEMBERS IN THE SYSTEM OF THE NATIONAL GUARD OF UKRAINE

Abstract

The article presents a comprehensive scientific and methodological analysis of canine-assisted therapy as an auxiliary area of functional use of service dogs within the system of psychological support and rehabilitation of servicemembers of the National Guard of Ukraine. The theoretical prerequisites for integrating canine-assisted therapy into the departmental practice of the security and defence forces are revealed, taking into account the specific nature of service and combat activities, the high intensity of psycho-emotional stress, and the peculiarities of adaptation processes among personnel under conditions of prolonged stress exposure.

The psycho-emotional and psychophysiological mechanisms of the positive impact of human–dog interaction are substantiated, in particular the effects of emotional stabilization, reduction of anxiety levels, normalization of the functional state of the nervous system, and enhancement of the adaptive capabilities of servicemembers. The role of the service dog is defined as a specific socio-psychological factor capable of serving as an element of emotional support, a catalyst for communicative activity, and a factor in creating a positive psychological atmosphere within the rehabilitation environment.

Special attention is paid to the criteria for selecting service dogs for therapeutic interaction, including behavioural, psychophysiological, and veterinary-sanitary indicators [3; 6]. The requirements for the special training of dogs are systematized, providing for the formation of stable models of balanced, predictable, and socially oriented behaviour under conditions of increased

variability of external stimuli. The organizational foundations for the use of canine-assisted therapy in units of the National Guard of Ukraine are outlined, in particular the principles of interdisciplinary cooperation between canine, psychological, and medical services.

The safety and ethical aspects of using service dogs in rehabilitation activities are 253ighlightted, with emphasis placed on the need to comply with regulated workload regimes, monitor the functional state of animals, and ensure the safety of all participants in the therapeutic process. The article proves the prospects of canine-assisted therapy as a component of comprehensive programs for psychological recovery and readaptation of servicemembers after exposure to combat stress factors, which corresponds to modern approaches to improving the system of moral and psychological support in military formations.

Keywords: *canine-assisted therapy, service dogs, psychological support, rehabilitation, servicemembers, stress, National Guard of Ukraine.*

References

14. Boiko A. (2024). Psykholohichni osoblyvosti perebuvannia osobystosti v ekstremalnykh umovakh. Naukovi innovatsii ta peredovi tekhnolohii, 10 (38). S. 806–818. https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-10(38)-806-818

(Boiko, A. (2024). Psychological characteristics of individuals in extreme conditions. *Scientific Innovations and Advanced Technologies*, 10 (38). P. 806–818. https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-10(38)-806-818)

15. Korniienko V. V., Sheviakov O. V., Serhiieni O. V. Sotsialnopsykholohichna reabilitatsiia osobystosti: navch. Posibnyk. Dnipro : DDUVS, 2023. 56 s.

(Kornienko V. V., Shevyakov O. V., Sergienko O. V. Social and Psychological Rehabilitation of the Individual: a study guide. Dnipro: DSUIA, 2023. 56 p.)

3. Fine, A. H. (2019). *Handbook on Animal-Assisted Therapy. Foundations and Guidelines for Animal-Assisted Interventions* (5th ed.). San Diego: Academic Press.

4. Kruger, K. A., & Serpell, J. A. (2019). Animal-assisted interventions in mental health: Definitions and theoretical foundations. In: Fine A. H. (Ed.). *Handbook on Animal-Assisted Therapy* (pp. 21-38). San Diego: Academic Press.

5. Pro veterynarnu medytsynu ta blahopoluchchia tvaryn. (2025). Zakon Ukrainy № 4718-IX vid 16.12.2025. Vziato z https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1206-20

(*On Veterinary Medicine and Animal Welfare*. (2025). Law of Ukraine No. 4718-IX of 16 December 2025. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1206-20)

16. Pro zatverdzhennia Instruktsii z orhanizatsii sluzhbovoi kinolohii v Natsionalnii hvardii Ukrainy (2014). Nakaz MVS vid 05.08.2014 № 772. Vziato z https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1213-14

(*On the Approval of the Instructions on the Organisation of Service Dog Handling in the National Guard of Ukraine* (2014). Order MI of 05.08.2014 № 772. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1213-14)

17. Spodar, Ya. B. (Red.). 2021. Boiovi dokumenty moralno-psykholohichnoho zabezpechennia vykonannia sluzhbovo-boiovykh zavdan sylamy Natsionalnoi hvardii Ukrainy: navch. Posib. Kharkiv: NA NHU. Vziato z https://repository.nangu.uk/handle/123456789/485

(Spodar, Y. B. (Ed.). 2021. Operational documents on the psychological and moral support for the execution of operational and combat tasks by the forces of the National Guard of Ukraine: a study guide. Kharkiv: NA NGU. Retrieved from https://repository.nangu.uk/handle/123456789/485)

8. Friedmann, E., Son, H., & Saleem, M. (2015). The animal-human bond: Health and wellness. In A. H. Fine (Ed.), *Handbook on animal-assisted therapy: Foundations and guidelines for animal-assisted interventions* (4th ed., pp. 73–88). Elsevier Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801292-5.00007-9

9. Kamioka, H., Okada, S., Tsutani, K., Park, H., Okuizumi, H., Handa, S. … Mutoh, Y. (2014). Effectiveness of animal-assisted therapy: A systematic review of randomized controlled trials. *Complementary Therapies in Medicine*, 22 (2), 371-390. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK241827/ .

Стаття надійшла до редакції 15.07.2026
Стаття пройшла рецензування 19.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

УДК 636.52/.58.082.4
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.18

Вікторія Мельник,
доктор історичних наук,
професор кафедри технологій у тваринництві,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0003-2491-757X
e-mail: melnikvika@nubip.edu.ua

Наталія Прокопенко,
доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри технологій у тваринництві,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0001-7967-884X
e-mail: prokopenkonp@nubip.edu.ua

Світлана Базиволяк,
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри технологій у тваринництві,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0003-1656-5754
e-mail: svitlanasmic@gmail.com

Оксана Онищук,
магістр, провідний фахівець відділу птахівництва,
ТОВ «Альфа-Вет»
ORCID ID: 0009-0009-9663-2347
e-mail: oksanaorcid@gmail.com

ВІДТВОРЮВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ КУРЕЙ КРОСУ «НОВОГЕН БРАУН»

Анотація

Попри складні умови воєнного стану, птахівництво України залишається однією з найбільш стійких галузей аграрного сектору та поступово відновлює виробничі потужності, зокрема і підприємства, які займаються виробництвом інкубаційних яєць.

У птахогосподарствах України для виробництва курячих яєць використовують кроси курей, які завозять із-за кордону. Репродуктивний потенціал птиці є одним із визначальних чинників результативного розвитку галузі птахівництва, оскільки прямо позначається на обсягах виробництва яєць, відновленні поголів'я та економічній ефективності господарств.

Відтворювальна здатність птиці визначається комплексом показників, що характеризують її потенціал до розмноження та отримання здорового молодняку. Основні критерії оцінювання включають несучість, заплідненість яєць, вивід курчат та їх збереженість. Метою роботу було дослідити відтворювальну здатність курей батьківського стада різного віку кросу «Новоген браун» в умовах ТОВ «Слов'яни».

У результаті проведених досліджень встановлено, що показники несучості курей кросу «Новоген браун» в умовах ТОВ «Слов'яни» були нижчими за нормативний рівень. Водночас, за 420 діб життя у розрахунку на початкову несучку отримали 218 яєць, а за 510 діб – 282,2 шт. За 72 тижні життя (504 доби) потенційна яєчна продуктивність відповідно до нормативів має досягати 298,6 яєць на початкову несучку. Рівень заплідненості яєць змінювався у значних межах – від 62,00±0,63 до 93,80±0,32 % і залежав від віку батьківського поголів'я. Показники виводу молодняку також характеризувалися суттєвими коливаннями: найвищий рівень становив 88,86±0,42 % (вік курей 314 діб), тоді як найнижчий – 62,00±0,63 % (вік курей 502 доби). Збереженість курчат за вирощування упродовж перших 10 діб після виводу не залежала від віку батьківського стада і становила 97,4 –98,0 %.

***Ключові слова**: крос, кури, відтворювальна здатність, несучість, заплідненість яєць, вивід курчат.*

Актуальність. Птахівництво є провідною галуззю сільськогосподарського виробництва [1]. Так, за даними Держстату [2], в Україні у 2025 році виробництво яєць птиці всіх видів у господарствах усіх категорій становило 11725,3 млн яєць, що на 16,7 % менше порівняно з 2021 роком (14071,3 млн шт.), однак на 3,1 % більше, ніж у 2023 р. (11368,9 млн шт.). У тому числі вироблено курячих яєць для інкубації 717,70 млн шт. (2025 р.). Кількість виведеного здорового молодняку свійської птиці у підприємствах України у 2024 році становила 637,30 млн голів (у Київській області – 27,20 млн гол.). Стосовно поголів'я, то у господарствах усіх категорій птиці всіх видів у 2025 р. налічувалося 194884,2 тис. – на 3,6 % менше, ніж у 2021 р. (202243,1 тис гол.), проте більше порівняно з 2022-м (180792,6 тис. гол.) на 7,8 %. Кількість курей та півнів у 2025 році становила 181125,1 тис., що є менше на 2,9 % відносно 2021-го (186623,0 тис. голів) та більше на 8,9 % порівняно з першим роком повномасштабного вторгнення рф в Україну (166313,0 тис. гол.) Отже, незважаючи на те, що в Україні триває війна, галузь птахівництва поступово відновлюється, зокрема і підприємств, які займаються виробництвом інкубаційних яєць.

У сучасних умовах інтенсивного ведення галузі особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на оцінювання відтворювальної здатності птиці, яка є одним із ключових чинників ефективного функціонування яєчного птахівництва, оскільки безпосередньо впливає на рівень виробництва яєць та економічні показники господарств.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Репродуктивний потенціал птиці сучасних кросів забезпечує отримання якісних інкубаційних яєць, високий відсоток їх заплідненості та виводу молодняку, що має важливе значення для стабільного виробництва продукції птахівництва.

Для виробництва курячих яєць у птахогосподарствах України використовують кроси курей, які створені провідними селекційними компаніями світу, а саме: «Хай-Лайн W-36» [3], «Ломанн ЛСЛ», «Ломанн браун», «Ломанн сенді» [4, 5], «Новоген браун» [6] та інші. Є публікації, в яких висвітлено вплив різних чинників годівлі на несучість яєчних курей [7, 8, 9]. На сьогодні значна кількість наукових досліджень проводиться у напряму вивчення впливу умов вирощування і утримання птиці батьківського стада на їх відтворювальну здатність. Зокрема, Damaziak et al. [10] проаналізували вплив вирощування ремонтного молодняку курей у вольєрній системі порівняно з клітковою на подальшу відтворювальну здатність батьківського поголів'я. Інші дослідження [11] були присвячені аналізу несучості та виводимості яєць батьківського поголів'я курей «Іза браун», вирощеного у закритих і відкритих вольєрах. Існує низка наукових робіт щодо визначення впливу внутрішньо-яєчних ін’єкцій різних препаратів (фітокомпозицій вітамінів й інших біологічно активних речовин) на вивід курчат [12, 13, 14].

Отже, загалом є чимало досліджень, в яких вивчали вплив різних чинників на відтворювальну здатність курей загалом та окремо на несучість, заплідненість яєць, вивід молодняку. При цьому, комплексні дослідження відтворювальної здатності яєчних курей в умовах птахогосподарств України наразі відсутні.

Мета роботи – дослідити відтворювальну здатність курей батьківського стада різного віку кросу «Новоген браун» в умовах ТОВ «СЛОВ'ЯНИ».

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проведено в умовах ТОВ «Слов'яни» з метою проаналізувати відтворювальну здатність курей кросу «Новоген браун». Кури батьківського стада мають біле забарвлення оперення, а півні – коричневе (рис. 1).



Рис. 1. Батьківське поголів'я курей кросу «Новоген браун» в умовах ТОВ «СЛОВ'ЯНИ» (автор фото: О. Онищук)

У господарстві ТОВ «СЛОВ'ЯНИ» для утримання курей кросу «Новоген браун» використовують кліткові батареї (рис. 2).

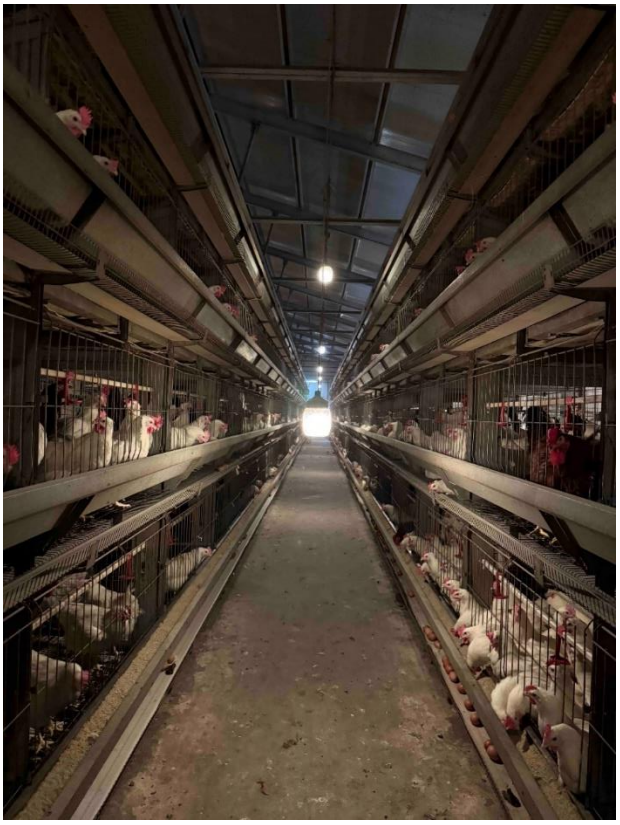


Рис. 2. Утримання поголів'я батьківського стада у кліткових батареях «SALMET» (автор фото: О. Онищук)

У пташнику змонтовано сім 4-ярусних кліткових батарей і в кожній клітці утримують по 2–3 півні і 20 курок. Загальна чисельність птиці у приміщенні складає 38 770 голів, а середнє співвідношення півнів до курей становить 1:8,6.

У ТОВ «Слов'яни» курей годують відповідно до рекомендацій компанії-постачальника кросу – «NOVOGEN».

Інкубаційні яйця від курей батьківського стада відправляють в інкубаторій, де їх зберігають у яйцескладі упродовж певного часу до закладання в інкубатор. У господарстві інкубаторій оснащений інкубаційними та вивідними машинами «Джеймсвей». Загальна потужність інкубаторію становить 4354560 яєць. Упродовж інкубаційного періоду здійснюють біологічний контроль розвитку ембріонів. Яйця овоскопують на міражному столі на 7-, 11- та 19-ту добу інкубації з метою оцінки стану зародків. Під час заключного контролю на 19-ту добу незапліднені яйця та яйця із загиблими ембріонами вибраковують, а решту розміщують у вивідні кошики та переміщують до вивідного інкубатора.

У період інкубації підтримують диференційований температурно-вологісний режим: на початку температура та вологість підвищені, а надалі ці показники поступово знижують. У період виводу молодняку температуру повітря в інкубаторі дещо знижують, а відносну вологість повітря – підвищують. Після виводу молодняк сортують за статтю та якістю. Оскільки крос «Новоген браун» є аутосексним, то самочок від самців відокремлюють за кольором пуху.

Виведений молодняк нерозділений за статтю представлено на рисунку 3.



Рис. 3. Нерозділений за статтю виведений молодняк кросу «Новоген браун» (автор фото: О. Онищук)

Розподіл за статтю здійснюють оператори за допомогою спеціального дископодібного транспортера. При цьому вилучають некондиційний молодняк. Надалі курочок направляють на вакцинування, котре здійснюють аерозольно та шляхом ін’єкції. Потім кондиційних вакцинованих курочок транспортують у господарства агрохолдингу «Авангард», де їх вирощують для комплектування промислового стада несучок.

При дослідженні відтворювальної здатності курей кросу «Новоген браун» контролювали такі показники: несучість курей, заплідненість яєць, вивід курчат і збереженість молодняку.

Дослідження заплідненості яєць та виводу молодняку проводили відповідно до схеми досліду (табл. 1).

Таблиця 1

Схема досліду

Номер партії яєць	Вік курей, діб	Тривалість зберігання яєць (не більше), діб	Закладено яєць на інкубацію, шт.
1	195	7	60480
2	249	7	120960
3	314	7	55440

4	483	7	25200
5	502	7	60480

Дані запліднености яєць та виводу молодняку статистично обробляли; вірогідність різниці між групами визначали за критерієм Стьюдента для відносних величин.

Несучість є одним із основних показників, що характеризує генетично зумовлений рівень продуктивності птиці. Висока та рівномірна несучість курей батьківського стада свідчить про їхній належний відтворний стан і високу племінну цінність. Достовірний облік несучості дає змогу прогнозувати обсяги закладання інкубаційних яєць, підтримувати безперервне виробництво добового молодняку, раціонально організовувати логістичні процеси та ефективно використовувати інкубаційне обладнання. Показник несучості тісно пов'язаний із масою яєць, міцністю шкаралупи, рівнем запліднености, виводимістю та життєздатністю молодняку. Як надмірно інтенсивна, так і недостатня яйцекладка можуть негативно позначатися на інкубаційних властивостях яєць. Систематичний контроль несучості дозволяє своєчасно виявляти зниження продуктивності, вносити корективи у годівлю та параметри мікроклімату, а також оптимізувати витрати на утримання поголів'я.

Оскільки несучість курей є одним із ключових показників, що характеризують їхню відтворювальну здатність, нами було проаналізовано цей показник у птиці кросу «Новоген браун» в умовах ТОВ «Слов'яни».

Компанія-постачальник кросу у своїх рекомендаціях надає нормативні дані щодо продуктивності батьківського стада. Такі стандартні показники використовують для оцінки рівня реалізації генетично зумовленого потенціалу продуктивності птиці.

У виробничих умовах господарства було досліджено несучість курей у двох пташниках за різної тривалості продуктивного використання птиці.

Таблиця 2

Продуктивність курей кросу «Новоген браун» в умовах ТОВ «Слов'яни»

Пташ-ник	Вік курей на кінець періоду викорис-тання, діб	Посад-жено, голів	Поголів'я на кінець періоду, гол.	Валовий збір яєць, шт.	Несучість на початкову несучку, шт.	Несучість на середню несучку, шт.
1	510	30 495	26 647	8 635 490	283,2	302,2
2	420	18 190	16 333	3 965 112	218,0	229,7

Варто зазначити, що у рекомендаціях щодо продуктивності курей батьківського стада показники наведені лише до 72-тижневого віку птиці. У пташнику № 1 курей утримували до 510-добового віку, після чого поголів'я було вибракуване та направлене на забій. За цей період несучість на початкову несучку становила 283,2 яйця, а на середню несучку – 302,2 яйця. Нормативні

дані для такого віку птиці у рекомендаціях відсутні. Проте слід підкреслити, що фактичний рівень несучості був нижчим, оскільки відповідно до стандартів за 72 тижні життя від однієї курки можна отримати 298,6 яєць. (у розрахунку на початкову несучку). Щодо пташника № 2, то за 60 тижнів життя від однієї початкової несучки було одержано 218,0 яєць, що на 19,7 шт. менше порівняно з нормативним значенням (237,7 шт.). Таким чином, кури кросу «Новоген браун» в умовах господарства реалізували свій генетично зумовлений потенціал продуктивності не повною мірою.

Відтворювальну здатність також оцінюють за такими показниками як заплідненість яєць і вивід молодняку. Дані заплідненості яєць наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Заплідненість яєць курей кросу «Новоген браун»

Номер партії	Вік курей, діб	Закладено яєць, шт.	Запліднені яйця, шт.	Заплідненість, % (M±m)
1	195	60480	54190	89,60±0,39
2	249	60480	55218	91,30±0,36
3	314	55440	52003	93,80±0,32
4	483	25200	19958	79,20±0,81
5	502	60480	37498	62,00±0,63

Отримані результати свідчать, що заплідненість яєць курей залежить від віку та коливається у значних межах: від 62,00±0,63 до 93,80±0,32 %. Найнижча заплідненість яєць є у курей віком 502 доби (при P<0,001), а найвища – 314 діб (при P<0,001). Вірогідність різниці за заплідненістю яєць наведена у таблиці 4.

Таблиця 4

Вірогідність різниці за заплідненістю яєць

Порівняння партій яєць	Рівень вірогідності	Порівняння партій яєць	Рівень вірогідності
1–2	P < 0,01	2–4	P < 0,001
1–3	P < 0,001	2–5	P < 0,001
1–4	P < 0,001	3–4	P < 0,001
1–5	P < 0,001	3–5	P < 0,001
2–3	P < 0,001	4–5	P < 0,001

Даний показник загалом залежить від різних чинників: умов годівлі та утримання батьківського стада, співвідношення самців і самок у стаді, віку птиці, відтворювальної здатність півнів тощо.

Вивід молодняку є наступним показником, який характеризує відтворювальну здатність птиці (табл. 5).

Таблиця 5

Вивід молодняку

Номер партії	Закладено яєць, шт.	Виведено курчат, гол.	Вивід, % (M±m)
1	60480	50375	83,29±0,48
2	60480	52125	86,18±0,44
3	55440	49271	88,86±0,42
4	25200	17208	68,29±0,93
5	60480	32333	53,46±0,64

Отже, вивід курчат у досліджуваних партіях коливався в межах від 53,46±0,64 до 88,86±0,42 %. Найвищий показник встановлено у третій партії, тоді як найнижчий – у п’ятій. При цьому, між усіма партіями встановлено високий рівень вірогідності різниці за даним показником (табл. 6).

Таблиця 6

Вірогідність різниці між партіями за виводом курчат

Порівняння партій яєць	Рівень вірогідності	Порівняння партій яєць	Рівень вірогідності
1–2	P < 0,001	2–4	P < 0,001
1–3	P < 0,001	2–5	P < 0,001
1–4	P < 0,001	3–4	P < 0,001
1–5	P < 0,001	3–5	P < 0,001
2–3	P < 0,001	4–5	P < 0,001

Аналіз відсотку виводу кількості самців і самок свідчить, що у всі досліджувані періоду більше було самців (рис. 4).

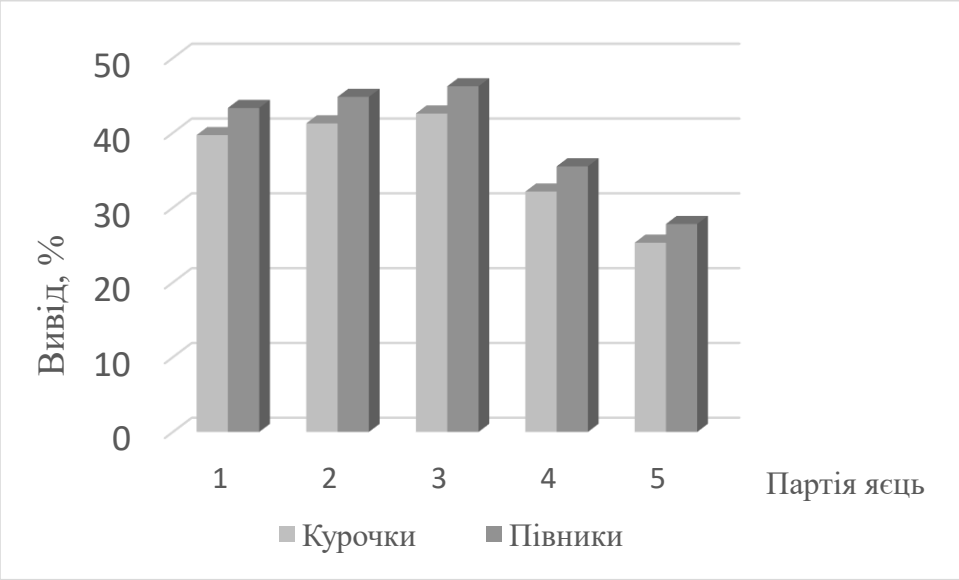


Рис. 4. Вивід курочок і півників, %

Отже, встановлено, що вивід молодняку, як і заплідненість яєць, залежить від віку батьківського поголів'я. Наші результати узгоджуються з даними інших дослідників. Так, V. Djermanović et al. [15] у своїх експериментах встановили, що на заплідненість і виводимість яєць впливає вік батьківського стада, H.E.E. Malik та ін. [16] на підставі отриманих результатів дійшли висновку, що маса інкубаційних яєць є визначальним чинником формування показників їх виводимості.

Контролювання збереженості молодняку птиці після виведення має важливе значення у птахівництві, оскільки безпосередньо позначається на результативності виробництва, економічній ефективності та стані здоров'я поголів'я. Рівень збереженості курчат визначає можливість формування оптимальної чисельності птиці для подальшого отримання продукції, зокрема харчових яєць. Підвищена загибель курчат у перші дні життя знижує ефективність вирощування ремонтного молодняку та може негативно впливати на одержання запланованої кількості яєць від несучок у майбутньому.

Оскільки відтворювальна здатність курей також характеризується рівнем збереженості молодняку протягом перших 10 діб вирощування, нами було вивчено цей показник у господарстві, яке отримує добових курочок із ТОВ «СЛОВ'ЯНИ» та здійснює вирощування ремонтного молодняку для комплектування промислового стада несучок.

При цьому було проаналізовано збереженість молодняку впродовж перших 10 діб вирощування. Результати досліджень наведено у таблиці 7.

Таблиця 7

Збереженість молодняку впродовж 10 діб після виводу

Партія виведеного молодняку	Збереженість поголів'я, %

1	97,8
2	97,7
3	98,0
4	97,8
5	97,4

Причинами загибелі стали дистрофія, кахексія, травмування та виродливості. За умови дотримання у господарстві всіх технологічних норм годівлі та утримання молодняку основною причиною розвитку таких порушень найчастіше є недоліки інкубації. До них належать передчасний або запізнілий вивід, низька якість інкубаційних яєць, а також порушення температурно-вологісного режиму під час інкубації. Інкубаційний період має вирішальне значення для формування здорового та життєздатного молодняку. Будь-які відхилення від оптимальних параметрів у цей час можуть призвести до ослаблення організму курчат, розвитку дистрофії та підвищення рівня загибелі у перші дні після виведення.

Таким чином, контроль збереженості курчат після виводу є важливою складовою оцінки відтворювальної здатності птиці.

Висновки та перспективи подальших досліджень. За проведення оцінювання відтворювальної здатності курей батьківського стада кросу «Новоген браун» у ТОВ «Слов'яни» встановлено, що несучість курей в умовах господарства була нижчою порівняно з нормативними показниками. У господарстві за 420 діб життя від однієї початкової несучки одержують 218 яєць, а за 510 діб – 282,2 яйця. Водночас, відповідно до стандарту, за 72 тижні життя (504 доби) від однієї несучки (у розрахунку на початкову) можна отримати 298,6 яєць. Рівень заплідненості яєць достовірно ($P<0,001$) коливався у широких межах – від 62,00±0,63 до 93,80±0,32 % та був зумовлений віком батьківського стада. Показники виводу молодняку також відзначалися значною мінливістю ($P<0,001$): максимальне значення становило 88,86±0,42 % у курей віком 314 діб, тоді як мінімальне – 62,00±0,63 % у птиці віком 502 доби.

Збереженість курчат протягом перших 10 діб вирощування після виведення не мала залежності від віку батьківського поголів'я та перебувала в межах 97,4–98,0 %.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні впливу терміну зберігання яєць курей кросу «Новоген браун» на їх виводимість.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Прокопишин О. С. Підвищення економічної ефективності підприємств птахівництва. *Український журнал прикладної економіки*. 2019. Т. 4, № 3. С. 8–16. URL: https://ujae.org.ua/wp-content/uploads/2020/02/ujae_2019_r03_a01.pdf.

2. Виробництво продукції тваринництва, кількість сільськогосподарських тварин і забезпеченість їх кормами (річна). Держстат: Веб-сайт. https://stat.gov.ua/uk/explorer?md5=76a9a1692a4882bda52e80e616734d8e (дата звернення: 15.04.2026).
3. Кучмістов В. О. Продуктивність курей за утримання на певних ярусах кліткових батарей. *Сучасне птахівництво*. 2022. № 3–4. С. 4–9. https://dx.doi.org/10.31548/poultry2022.03-04.004.
4. Дунець В. Ю, Слівінська Л. Г. Клінічна синдроматика курей-несучок кросу "Ломан Браун" в умовах господарства. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького*. Серія : Ветеринарні науки. 2018. Т. 20, № 83. С. 341-346. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnuvmbvn_2018_20_83_70.
5. Usenko S. O., Vasiliva O. O., Karunna T. I., Shaferivskyi B. S., Zeliznyk I. M., Kravchenko O. I. The influence of cross selection on the efficiency of commodity egg production. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2022. Vol. 1. P. 120–125. doi: 10.31210/visnyk2022.01.15.
6. Мельник В. В., Кривуця Г. В, Прокопенко Н. П., Базиволяк С. М., Савич В. Б. Технологія виробництва інкубаційних яєць курей кросу "Новоген браун". *Сучасне птахівництво*. 2024. № 1–2. С. 18–24. doi: https://dx.doi.org/10.31548/poultry2024.01-02.018.
7. Attivi K., Agboka, K., Mlaga G. K., Dassidi N., Oke O. E., Karou S. D., Onagbesan O., Hai L., Tona J. (2023). Productive performance, follicular development, and reproductive hormone profiles of laying hens fed with black soldier fly (Hermetia illucens) larvae meal as a substitute for fish meal. *European Poultry Science.* 2023. Vol. 87. P. 1-17. https://doi.org/10.1399/eps.2023.368.
8. Faghih-Mohammadi F., Seidavi A, Bouyeh M. The effects of chelated micro-elements feeding in broiler breeder hens and their progeny: A review. *Tropical Animal Health and Production.* 2022. Vol. 54(5). Article 323. https://doi.org/10.1007/s11250-022-03317-1.
9. Safaa H.M., Serrano M.P., Valencia D.G., Frikha M., Jiménez-Moreno E., Mateos G.G. Productive Performance and Egg Quality of Brown Egg-Laying Hens in the Late Phase of Production as Influenced by Level and Source of Calcium in the Diet metabolism and nutrition. *Poultry Science*. 2008. Vol. 87, Is. 10. P. 2043–2051.
https://doi.org/10.3382/ps.2008-00110.
10. Damaziak K., Musielak M., Musielak C., Riedel J., Gozdowski D., Grzybek W., Effect of different rearing system on eggs production, hatchability, and offspring quality in layer breeders. *Poultry Science*. 2021. Vol. 100, № 6. Article 101101. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101101.
11. Damaziak K., Musielak M., Musielak C., Riedel J., Gozdowski D. Reproductive performance and quality of offsprings of parent stock of layer hens after rearing in open and closed aviary system. *Poultry Science*. 2020. Article 100. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.025.
12. Akosile O., Majekodunmi B., Sogunle O., Baloyi J., Fushai F., Bhebhe E., Oke O. Research Note: Responses of broiler chickens to in ovo feeding with clove and cinnamon extract under hot-humid environments. *Poultry Science*. 2023. Vol. 102, № 3. Article 102391. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102391.
13. Asaa M. N., Chamania M., Naser M. S., Sadeghia A., Foroudi F. The effect of the in ovo injection of some carbohydrates and antioxidants on incubating parameters, blood and immunological parameters, intestinal morphometry and post-hatching production performance in broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*. 2022. Vol. 21, №1. P. 749–763. https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1993092.
14. Araujo I., Cafe M., Noleto R., Martins J., Ulhoa C., Guareshi G., Reis M., Leandro N. Effect of vita-min E in ovo feeding to broiler embryos on hatchability, chick quality, oxidative state and performance. *Poultry Science*. 2019. Vol. 98, № 9. P. 3652–3661. https://doi.org/10.3382/ps/pey439.
15. Djermanović V., Mitrović S., Milojević M. Effect of body weight of laying hens on production traits of broiler parents. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2017. Vol. 33, № 2. P. 201–209. https://doi.org/10.2298/BAH1702201D.
16. Malik H. E. E., Sakin A. I. Y., Elagib H. A. A., Dousa B. M., Elamin K. M.

Effect of Egg Weight and egg Shell Thickness on Hatchability and Embryonic Mortality of Cobb Broiler Breeder Eggs. *Global Journal of Animal Scientific Research*. 2015. Vol. 3(1). P.186–190. 2015. URL: http://archives.gjasr.com/index.php/GJASR/article/view/141/373 (дата звернення: 15.04.2026).

REPRODUCTIVE CAPACITY OF 'NOVOGEN BRAUN' CROSSBREED HENS

Abstract

Despite the challenging conditions of martial law, Ukraine's poultry industry remains one of the most resilient sectors of the agricultural sector and is gradually restoring its production capacity, including enterprises engaged in the production of hatching eggs.

Poultry farms in Ukraine use chicken crosses imported from abroad for the production of chicken eggs. The reproductive potential of poultry is one of the key factors determining the successful development of the poultry industry, as it directly affects egg production volumes, flock renewal and the economic efficiency of farms.

The reproductive capacity of poultry is determined by a set of indicators characterising its potential for reproduction and the production of healthy offspring. The main evaluation criteria include egg production, egg fertilisation rate, chick hatching rate and chick survival rate. The aim of this study was to investigate the reproductive capacity of hens from the parent flock of various ages of the 'Novogen Brown' cross at 'Slavyani' Ltd.

The results of the study showed that the egg production rates of 'Novogen Brown' hens at 'Slavyani' Ltd were below the standard level. At the same time, over 420 days of life, 218 eggs were obtained per initial layer, and over 510 days – 282.2 eggs. Over 72 weeks of life (504 days), potential egg production, in accordance with the standards, should reach 298.6 eggs per initial layer. The egg fertilisation rate varied considerably – from 62.00±0.63 to 93.80±0.32 per cent – and depended on the age of the parent stock. Chick hatching rates also showed significant fluctuations: the highest rate was 88.86±0.42 per cent (hens aged 314 days), whilst the lowest was 62.00±0.63 per cent (hens aged 502 days). Chick survival during rearing over the first 10 days after hatching was independent of the age of the parent flock and ranged from 97.4 to 98.0 per cent.

Keywords: *crossbreed, hens, reproductive capacity, egg production, egg fertility, chick hatching.*

References

1. Prokopyshyn, O. S. (2019). Improving the Economic Efficiency of Poultry Farms. Ukrainian Journal of Applied Economics, 4(3), 8–16. URL: https://ujae.org.ua/wp-content/uploads/2020/02/ujae_2019_r03_a01.pdf. [in Ukrainian].
2. Livestock production, number of farm animals, and feed supply (annual). State Statistics Service: Website. https://stat.gov.ua/uk/explorer?md5=76a9a1692a4882bda52e80e616734d8e [in Ukrainian].
3. Kuchmistov, V. O. (2022). Productivity of hens kept on specific tiers of cage batteries. Modern Poultry, 3–4, 4–9. https://dx.doi.org/10.31548/poultry2022.03-04.004 [in Ukrainian].
4. Dunets, V. Yu., & Slivinska, L. G. (2018). Clinical syndromes in laying hens of the "Lohmann Brown" breed under farm conditions. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences,* 20(83), 341–346. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnuvmbvn_2018_20_83_70
[in Ukrainian].
5. Usenko, S. O., Vasiliva, O. O., Karunna, T. I., Shaferivskyi, B. S., Zeliznyk, I. M., & Kravchenko O. I. (2022). The influence of cross selection on the efficiency of commodity egg production. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 120–125. https://dx.doi.org/10.31210/visnyk2022.01.15 [in Ukrainian].

6. Melnyk, V. V., Kryvutsya, G. V., Prokopenko, N. P., Bazyvoliak, S. M., Savych, V. B. (2024). Production technology for hatching eggs of the "Novogen Brown" cross. *Modern Poultry*, 1–2, 18–24. https://dx.doi.org/10.31548/poultry2024.01-02.018 [in Ukrainian].
7. Attivi, K., Agboka, K., Mlaga, G. K., Dassidi, N., Oke, O. E., Karou, S. D., Onagbesan, O., Hai, L., & Tona, J. (2023). Productive performance, follicular development, and reproductive hormone profiles of laying hens fed with black soldier fly (Hermetia illucens) larvae meal as a substitute for fish meal. *European Poultry Science*, 87, 1–17. https://doi.org/10.1399/eps.2023.368 [in English].
8. Faghih-Mohammadi, F., Seidavi, A., & Bouyeh, M. (2022). The effects of chelated micro-elements feeding in broiler breeder hens and their progeny: A review. *Tropical Animal Health and Production,* 54(5), 323. https://doi.org/10.1007/s11250-022-03317-1 [in English].
9. Safaa, H. M., Serrano, M. P., Valencia, D. G., Frikha, M., Jiménez-Moreno, E., & Mateos G. G. (2008). Productive Performance and Egg Quality of Brown Egg-Laying Hens in the Late Phase of Production as Influenced by Level and Source of Calcium in the Diet metabolism and nutrition. *Poultry Science*, 87(10), 2043–2051.
https://doi.org/10.3382/ps.2008-00110 [in English].
10. Damaziak, K., Musielak, M., Musielak, C., Riedel, J., Gozdowski, D., & Grzybek, W. (2021). Effect of different rearing system on eggs production, hatchability, and offspring quality in layer breeders. *Poultry Science*, 100(6), 101101. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101101 [in English].
11. Damaziak, K., Musielak, M., Musielak, C., Riedel, J., & Gozdowski, D. (2020). Reproductive performance and quality of offsprings of parent stock of layer hens after rearing in open and closed aviary system. *Poultry Science*, 100. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.025 [in English].
12. Akosile, O., Majekodunmi, B., Sogunle, O., Baloyi, J., Fushai, F., Bhebhe, E., & Oke, O. (2023). Research Note: Responses of broiler chickens to in ovo feeding with clove and cinnamon extract under hot-humid environments. *Poultry Science*, 102(3), 102391. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102391 [in English].
13. Asaa, M.N., Chamania, M., Naser, M. S., Sadeghia, A., & Foroudi F. (2022). The effect of the in ovo injection of some carbohydrates and antioxidants on incubating parameters, blood and immunological parameters, intestinal morphometry and post-hatching production performance in broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 749–763. https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1993092 [in English].
14. Araujo, I., Café, M., Noleto, R., Martins, J., Ulhoa, C., Guareshi, G., Reis, M., & Leandro, N. (2019). Effect of vita-min E in ovo feeding to broiler embryos on hatchability, chick quality, oxidative state and performance. *Poultry Science*, 98(9), 3652–3661. https://doi.org/10.3382/ps/pey439 [in English].
15. Djermanović, V., Mitrović, S., & Milojević, M. (2017). Effect of body weight of laying hens on production traits of broiler parents. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 33 (2), 201–209. https://doi.org/10.2298/BAH1702201D [in English].
16. Malik, H. E. E., Sakin, A. I. Y., Elagib, H .A. A., Dousa, B. M., & Elamin, K. M. (2015). Effect of Egg Weight and egg Shell Thickness on Hatchability and Embryonic Mortality of Cobb Broiler Breeder Eggs. *Global Journal of Animal Scientific Research,* 3(1), 186–190. URL: http://archives.gjasr.com/index.php/GJASR/article/view/141/373 (дата звернення: 15.04.2026). [in English].

Стаття надійшла до редакції 24.07.2026
Стаття пройшла рецензування 29.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

РОЗДІЛ 2. СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

UDC 636.085.55.4
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.19

Igor Dudarev,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agroengineering,
Odesa State Agrarian University, Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0001-9509-6970
e-mail 247531@ukr.net

Serhii Uminskyi,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agroengineering,
Odesa State Agrarian University, Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-7767-8405
e-mail ymoshi@ukr.net

Andriy Khomenko,
Assistant, Department of Automation of Technological, Electromechanical and Robotic Systems,
Odessa, Ukraine Odessa National Technological University
ORCID ID 0009-0004-5661-9037
e-mail science23@ukr.net

Valentyna Makarchuk,
Senior Lecturer, Department of Agricultural Engineering,
Odessa State Agrarian University, Odessa, Ukraine
ORCID ID 0009-0007-0941-0670
e-mail 0487878617s@gmail.com

Serhiy Zhitkov,
Associate Professor, Department of Agricultural Engineering,
Odessa State Agrarian University , Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-0598-9906
e-mail sergejzitkov1983@gmail.com

TRANSFORMATION OF QUALITY INDICATORS AND PROLONGATION OF STORAGE OF COMPOUND FEED USING A PRESERVATIVE

Abstract

Nutritional optimization of farm animals and poultry is based on a balanced diet, which involves controlling nutrients, correcting the energy-protein ratio, and ensuring sufficient levels of amino acids, vitamins, macro and microelements. Analysis of changes in the chemical composition,

nutritional value and microbiological profile of compound feed indicates that the content of crude protein, fiber and ash remains stable during storage. However, during this period, the lipid fraction is degraded, and carotene and other biologically active compounds are destroyed. Preservatives are used to maintain the quality and extend the shelf life of compound feed. Preservatives that are part of compound feed perform a critical function for long-term storage of products, ensuring the immutability of nutritional value and safety for animals. They actively suppress the development of mold fungi, harmful bacteria and other pathogenic microorganisms that can negatively affect not only the quality of feed, but also the health of animals that consume it. The use of such substances allows you to avoid premature spoilage of the product and significantly reduce the risks of losing its valuable nutrients.

One of the most important properties of preservatives is their ability to protect feed from mold and mycotoxins. These components create unfavorable conditions for the development of fungi of the genera Aspergillus, Penicillium and Fusarium, which are the main sources of the formation of mycotoxins — of extremely dangerous toxic compounds for animals and humans. Reliable prevention of the reproduction of such mushrooms helps to preserve the health of livestock and minimize the risk of negative impact on livestock productivity.

Key words: *variation, storage, preservative, mixing, acid*

Introduction. In the context of the renewal of intensive animal husbandry, the technological reliability and sanitary cleanliness of complex feed compositions are becoming more and more significant. Among the key challenges in storing highly concentrated feed, microbial decomposition caused by the active growth of microscopic fungi and bacterial colonies stands out. To minimize losses of nutritional components, manufacturers of compound feed systematically use chemical stabilizers.

Propanoic acid, also known as propionic acid, occupies a prominent place among organic compounds due to its powerful antifungal and antimicrobial effects. This monobasic carboxylic acid is naturally synthesized in the body of ruminants as a metabolic product, and when used in appropriate concentrations, it does not pose a threat, which allows maintaining a high biological nutritional value of the feed [4, 6, 10].

The mechanism of inhibition of microorganisms by propanoic acid is based on its ability to easily overcome the cellular barriers of microbes. Penetrating inside the cell, it releases protons, which provokes a sharp acidification of the internal environment. To restore the balance, microorganisms are forced to intensively spend energy reserves on the removal of excess hydrogen ions, which leads to the depletion of their metabolic resources, disruption of the structure of enzymes and suppression of vital activity up to the complete destruction of harmful microflora.

One of the key features of this drug is its targeted effect, which is manifested in the selective effect on fungal microorganisms dangerous to health, in particular on aspergilli, penicilli and fusariums. These microbial species are known as the main sources of toxic mycotoxins capable of causing serious harm. At the same time, the useful lactic acid microflora, which has a positive effect on health, shows moderate resistance to minor acidification of the environment. This is of great importance, because thanks to the pronounced biostatic effect of the mixture, reliable protection

against unwanted self-heating is obtained during the storage of — both in high silage towers and in ordinary warehouses.

It is also worth noting that the transformation and stabilization of lipids, that is, fats, bring positive consequences. Compound feed, which contains large volumes of vegetable oils and animal fats, is often prone to peroxidation. This undesirable process is activated by the action of oxygen and moisture, as well as through the activity of fungi secreting lipolytic enzymes. Enzymatic hydrolysis causes the accumulation of free fatty acids, aldehydes and ketones, which ultimately leads to rancidity of the feed. The additive in the form of propanoic acid serves as an indirect antioxidant. It inhibits the growth of microorganisms that produce lipases, thereby preserving the integrity of the triglyceride structure. Due to a significant decrease in the accumulation of moisture and thermal energy (as a result of the respiratory activity of fungi), the involuntary process of lipid autooxidation is significantly slowed down. This enables polyunsaturated fatty compounds to retain their nutritional value without becoming harmful peroxides [3, 7, 9]. \Preservation of protein components, in particular such key proteins and amino acids, is a process inextricably linked with the natural activity of various microorganisms. At the same time, putrefactive bacteria together with mold quite intensively contribute to the breakdown of feed protein structures. They effectively decompose valuable proteins, turning them into ammonia, hydrogen sulfide and toxic amines. Propionic acid is used to prevent this undesirable phenomenon of protein destruction, which is called proteolysis. It changes the level of acidity of the environment to indicators that become extremely unfavorable for the activity of bacterial proteases.

Scientific studies prove that the use of propionic acid for preserving feed mixtures significantly reduces losses of total nitrogen. For example, compared to rations that have not undergone conservation, such losses can be reduced by almost half. The structure of essential amino acids such as lysine, methionine and threonine remains unchanged and continues to be biologically digestible for animals, providing them with essential nutrients directly during digestion. Due to the fact that the destructive processes of protein breakdown stop, the compound feed retains a stable amino acid composition throughout the storage period. In addition, there is an effect on vitamins and other biologically active compounds. Studies of the interaction of propionic acid with vitamin complexes of premixes indicate the presence of a mutual effect. However, the overall result of such interaction is positive. Tocopherols and carotenoids, that is, vitamins E and A, which belong to the group of fat-soluble vitamins, are extremely vulnerable to oxidative processes when the fat component rancids. By stabilizing lipids, propionic acid serves as a synergist, protecting these vitamins from premature breakdown and thus prolonging their vital effects in the body [1, 6, 9, 10].

Vitamins of group B together with ascorbic acid, combined with moderate acidification of a dry medium, form a protective buffer that guarantees the stability of the vast majority of water-soluble compounds in the low-acid pH range (5.0–6.0). The direct destruction of these vitamins due to the influence of pure additives is

insignificant if the technological dosage norms are strictly followed (usually 0.1–0.5% by weight). In addition, industrial propionic acid is used as a raw material base for the chemical synthesis of synthetic vitamin E. As for the effect on carbohydrates and mineral elements, this compound inhibits the fermentation of easily digestible sugars and starch, reducing the activity of yeast and other unwanted fermentation microorganisms. This markedly reduces the loss of dry matter in the feed. In the case of macro and microelements, the acidic environment converts insoluble salts such as calcium and phosphorus phytates into a bioavailable ionic form, which facilitates their absorption by the digestive system of animals. When humidity indicators are kept at an average level in the range of 14–16%, there is a serious threat of mold formation, which can appear after 2–4 weeks. To prevent this, it is worth applying the preservative in an amount from 0.25% to 0.35%, which will make it possible to reliably store the feed mixture for 4–6 months without losing its quality. With high humidity, when this indicator reaches more than 17% or under conditions of poor ventilation, processing becomes even more urgent, because without it the feed can spoil for a few days. In such difficult circumstances, it is recommended to use increased doses of the preservative — from 0.5% to 0.8% or even higher. This makes it possible to effectively protect the mass and preserve its nutritional value for 2–4 months [5, 8, 10].

Problem statement, analysis of modern research. The addition of propionic acid to the compound feed formulation is a mandatory and key technological step in modern feed production. This chemical compound performs a number of vital tasks without which it is impossible to ensure stable high quality feed. It acts as a powerful preservative, antiseptic and agent that suppresses the development of mold, protecting the feed mass from harmful microorganisms and prolonging its freshness. It is worth emphasizing that the effectiveness of its use directly depends on the correct dosage, as well as the moment and stage at which the acid is added to the mixer.

In compound feed production, the mixing process is of central importance, and its main goal is — to obtain the most homogeneous product. This is achieved by controlling the coefficient of variation, which when liquid propionic acid is applied should not exceed five percent. It should be remembered that the addition of this ingredient significantly changes the physical and mechanical characteristics of the dry feed mixture, so that special care is required during its use. Propionic acid, also called propanoic acid, belongs to monobasic saturated carboxylic acids. In its pure form, it is a colorless caustic liquid with a pronounced pungent smell. In fodder production, it is used both in the pure liquid state and in the form of salts — of ammonium, calcium or sodium propionates. The latter are considered less volatile and cause significantly less corrosion of the equipment [2, 6, 10].

Suppression of microflora with propionic acid occurs due to the ability of its undissociated molecules to penetrate the cell membranes of molds, yeasts, and bacteria, including Salmonella and E. coli. Once inside the cell, where the environment is more neutral compared to the outside, the acid dissociates, releasing hydrogen ions. This stops the development of microorganisms and allows you to store the feed product at a high quality level.

A sharp drop in intracellular pH forces the body to spend ATP on removing excess protons to maintain homeostasis. Because of this, the cell's energy reserves are depleted, its metabolism is disturbed, which eventually completely stops the growth of microorganisms or causes their death.

In the fight against mold, acid successfully inhibits the development of Aspergillus, Fusarium and Penicillium fungi. This blocks the formation of dangerous mycotoxins, in particular aflatoxins, zearalenone and T-2 toxin, which is crucial in long-term storage of feed. Inhibition of microbial activity also prevents self-heating of the feed mass, avoiding caramelization of sugars and hydrolysis of fats, which allows to preserve the exchange energy of the compound feed. Once in the digestive tract of animals, acid-treated feed stimulates the work of the pepsin enzyme, improving protein absorption and maintaining healthy intestinal microflora. The dry compound feed is preferably composed of fine particles like cereal meal, vitamins, minerals and amino acids. The addition of liquid acid is accompanied by several important consequences:

- Increased adhesion: The acid moistens the dry ingredients of the feed, creating water bridges that help them stick together.

- Agglomeration: trace elements, such as vitamins or amino acids, attach to the acid droplets, forming lumps. This can negatively affect the uniformity of the distribution of components in the feed mixture. The change in flowability indicates an increase in internal friction in the material, due to which the feed mixture loses the ability to move freely. This can slow down the movement of raw materials inside the mixer. There is a danger of segregation and uneven distribution of components, especially when liquid acid is supplied in large drops or in a continuous stream: excessively moistened zones (pockets with increased concentration) are formed at the points of entry, which the mixer blades cannot effectively break. This can cause one part of the feed to receive an excess of acid, causing the animals to refuse to eat it due to the pungent smell, while the other part will remain unprotected from mold development. The acid should only be applied after the pre-dry mixing of all macro and micro components is complete, which usually lasts the first 60–90 seconds of the cycle. If the liquid is fed at the same time as the dry ingredients (premixes), the acid drops will cause lumps to form, which will disrupt the homogeneity of the mixture. After adding the liquid, additional time is needed for "wet" stirring (another 60–120 seconds) so that moisture is evenly distributed [6, 10].

In modern productions, the introduction of propionic acid is often taken outside the main mixer. This can be done in a mixer conditioner in front of the granulator, where the acid acts synergistically with the steam, improving the plasticity of the mass. However, the high vapor temperature is capable of causing partial evaporation of propionic acid. Another approach is — finishing spraying (Post-Pelleting Application), that is, applying a liquid preservative to ready-made cooled granules. This is the most effective point from the point of view of biological protection, since the acid covers the outer surface of the granules, protecting them from further contamination during transportation.

The purpose of research. Evaluation of the dynamics of changes in shelf life, mixing processes and variability with the use of propionic acid in compound feed indicates the critical role of accurate dosing of preservatives. The main subject of the analysis was compound feed intended for broilers at various stages of cultivation (according to recipes 6-9 and 6-2). Animal fat in the amount of 4% was included in the composition of the formulation № 6-2. To ensure the stability of the product, the preservative was added to it in concentrations of 0.1%, 0.2% and 0.3% of the total weight.

Experimental samples of compound feed were produced according to the established method and stored for four months. A number of indicators were measured: humidity level, crude fat content, acid and peroxide fat number, as well as the concentration of vitamins A, E, B4, B12 and carotene. During the study, the crude fat content of the № 6-9 formulation remained unchanged, while the № 6-2 formulation showed a decrease until the end of the storage period, which is probably due to the hydrolysis of the added fat.

The results of the experiment demonstrated a change in peroxide numbers: the use of antioxidants made it possible to maintain the level of peroxides at different marks. The highest efficacy was recorded at a preservative concentration of 0.3%. This formulation variant actively prevented peroxides from forming for three months. Analysis of the change in the acid number of fat during storage indicated that its initial value was 11.4–15.9 mg KOH/g, gradually increasing by the end of the fourth month and reaching a level of 34.6–105.9 mg KOH/g. In experimental batches of compound feed according to formulations № 6-9, it was established that the acid number increased by 5–6.7 times compared to the initial indicators before the end of the shelf life. In the control sample of compound feed according to the № 6-9 formulations, the loss of vitamin A was 49.5%, while in the batches treated with the preservative, this indicator ranged from 11.9% to 44.6%. At the end of the experiment, the level of vitamin A preservation reached 73.5% and 80.3%, respectively. At a diludin concentration of 0.05%, vitamin A activity reached 88.1% of its original value. In the control compound feed according to the recipe № 6-2, the loss of vitamin A during the three months of storage was 22.6%, and in the samples with the preservative — from 6.7% to 14.6%. Comparative analysis showed that vitamin A was best stored in compound feed according to the recipe № 6-2 with the addition of animal fat. This is confirmed by the data of studies of peroxide and acid fat numbers in compound feed. During storage of compound feed according to the № 6-2 formulation, a higher stability of vitamin B12 was observed for four months compared to compound feed according to the № 6-9 formulation. In the compound feed stabilized with the preservative, the content of vitamin B12 remained close to the initial values throughout the experiment. The use of the preservative prevents the oxidation of carotene, for which the minimum dosages turned out to be critical. In four months of preservative-free storage, vitamin E losses reached 15.8%, while in stabilized batches this figure varied from 0% to 8%. At the same time, the activity of choline in the control compound feed decreased by 26.3%, and the decrease was noticeable already after the first month of storage.

The coefficients of uneven distribution of the preservative in compound feed were determined by the method of its introduction and taking into account the calculated data of the coefficient of variation. When the preservative was added as a premix, this parameter fluctuated within 12.3–19.6%, while when directly applied to the mixture — 13.8–21.9%.

Table. 1

Methods of administering the preservative

Conventional designation of the party	Application of preservative	Inhomogeneity coefficient of the mixture,%
1	Compound feed without preservative	-
2	Compound feed with preservative + 0.1% through premix	19,6
3	Compound feed with preservative + 0.3% through premix	12,3
4	Compound feed with preservative + 0.1% directly into the mixture	21,9
5	Compound feed with preservative nom + 0.32% directly into the mixture	13,8

Changes in fat peroxide numbers in compound feed depending on the method of application are given in Table 2.

Table. 2

Change in the skew number of fat of compound feed with different methods of management

№ batch	amount of preservative	Skew number % during storage , by month				
		the beginning	1	2	3	4
1	Compound feed without preservative	47,2	26,4	38,4	71,2	43,2
2	Compound feed with preservative+ 0.1% through premix	41,6	16,0	8,8	30,0	23,2
3	Compound feed with preservative + 0.3% through premix	36,8	16,8	12,8	20,0	16,0
4	Compound feed with preservative + 0.1% directly into the mixture	39,2	17,6	9,6	27,2	21,6
5	Compound feed with preservative + 0.3% directly into the mixture	37,6	15,2	11,2	23,6	12,8

The obtained data show that the use of the preservative contributed to the reduction of the value of peroxide numbers. At the start of the study, this indicator in products without addition reached 47.2% I, and in samples with preservatives — 36.8–41.6% I. No significant differences were recorded during the entire observation period between the different variants of compound feedingstuffs with preservatives.

In addition, the preservation of carotene in compound feed was studied. In products with preservatives, its content after the first month of storage was 89.2–100%, after the second — 85.2–92.6%, after the third — 81.0–92.2%, and after the fourth — 75.1–88.7%. For comparison, in the non-preservative samples, these values were markedly lower and were 83.3%, 77.8%, 56.3% and 52.7%, respectively.

Table. 3

Analysis of mixing of components using a filler

№ , p/p	Mixing time of compound feed components (τ), c	Coefficient of variation (Vs),%	Storage period (t), days,	Air humidity over %	Air temperature ° C	Combined feed moisture content %,
1	30	37	13	85	25-35	12-14
2	60	29	14	85	25-35	12-14
3	90	25	15	85	25-35	12-14
4	120	19	14	85	25-35	12-14
5	150	15	16	85	25-35	12-14
6	180	13	25	85	25-35	12-14
7	210	13	23	85	25-35	12-14
8	240	15	19	85	25-35	12-14
9	270	17	16	85	25-35	12-14
10	300	19	14	85	25-35	12-14
11	330	20	12	85	25-35	12-14

Table 4

Analysis of mixing of components without the use of filler

№ , p/p	Mixing time of compound feed components (τ), c	Coefficient of variation (Vs),%	Storage period (t), days,	Air humidity over %	Air temperature ° C	Combined feed moisture content %,
1	30	37	13	85	25-35	16-18
2	60	31	12	85	25-35	16-18
3	90	27	11	85	25-35	16-18
4	120	22	10	85	25-35	16-18
5	150	17	9	85	25-35	16-18
6	180	14	21	85	25-35	16-18
7	210	15	20	85	25-35	16-18
8	240	21	12	85	25-35	16-18

9	270	23	10	85	25-35	16-18
10	300	24	9	85	25-35	16-18
11	330	25	8	85	25-35	16-18

The method of application of antioxidants and their concentration did not significantly affect the content of carotene in the compound feed during the first two months of storage. However, after the end of this period, the amount of carotene began to decrease rapidly in those batches of compound feed where the antioxidant was added directly to the finished products.

Conclusions and prospects for further research. Propionic acid performs not only the function of a preservative, but is also a reliable stabilizer of the entire compound feed system. It prevents the breakdown of fats, protects protein compounds from the destructive effect of microorganisms and maintains the vitamin complex at the highest quality level. The optimal use of this component makes it possible to extend the shelf life of ready-made feed mixtures by 2–4 times, minimizing the accumulation of toxins and ensuring high productivity of animals.

Experiments have shown that the best result is achieved when mixing the ingredients of the compound feed together with the filler for the recommended 180 seconds.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

References

1.Barel S. (2013). Overview of the needs and composition of the feed and harmful substance safety inspection system in Israel's VSAH. Beth Dagan: Veterinary and Animal Health; 154 pp.[in Israel]
2.Brindzia Z. F. , Jula I. O.(2000).. System of technologies in crop production. Study guide. Ternopil: Consulting Center. , 188 p. [in Ukrainian]
3. Verbych I. V., Bratkovska H. V. (2020). Vykorystannia u hodivli molodniaka svynei kombikormu z riznymy sposobamy pererobky soi iz soniashnykovoiu makukhoiu [Use of compound feed with different methods of processing soybeans with sunflower meal in feeding young pigs]. Kormy i kormovyrobnytstvo. Vinnytsia, 89. 205–215. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-20 [in Ukrainian].
4. Dudarev I.I. (2014) Grain moisture. Agrarian Bulletin of the Black Sea Region, Issue 74, P.129–132. [in Ukrainian].
5.Dudarev I. (2016). Processing and frictional properties of grain. Agrarian Bulletin of the Black Sea Region, Issue 80, P. 137–144. [in Ukrainian]
6.Drobat V.Y. (1998) Handbook of bakery production technology Kyiv: Ruslana – 415 pp. [in Ukrainian]
7.Kaminsky V.D. Babich M.B. (2000). Processing and storage of agricultural products. Odesa: Aspect,.459 pp. [in Ukrainian]
8. Muller-Harvey I. (2004) Modern methods of feed analysis. A: Evaluation of the quality and safety of animal feed. Rome: FAO; S. 1-34.[in Italy]
9.Piksha G. R., Bondarenko V. (1995) Cereals K.: Harvest,. 272 pp. . [in Ukrainian]
10. Lisovenka O.T. (2000). Technological equipment of bakery and pasta industries. Ed. Academician Kyiv: Scientific opinion, 181 p. . [in Ukrainian]
11. Petterson DS, Harris DJ, Rayner CJ, Blakeney AB, Choct M.(1999) Methods of grain analysis of premium livestock. Australian Journal of Agricultural Research.;50: p. 775-787. .[in Australian]

Ігор Дударев,
кандидат технічних наук,доцент кафедри агроінженерії,
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0001-9509-6970
e-mail 247531@ukr.net

Сергій Уминський,
кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії,
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0002-7767-8405
e-mail ymoshi@ukr.net

Андрій Хоменко,
асистент кафедри автоматизації технологічних, електромеханічних і робототехнічних систем,
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0009-0004-5661-9037
e-mail science23@ukr.net

Валентина Макарчук,
старший викладач кафедри агроінженерії,
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0009-0007-0941-0670
e-mail 0487878617s@gmail.com

Сергій Житков
доцент кафедри агроінженерії,
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0003-0598-9906
e-mail sergejzitkov1983@gmail.com

ТРАНСФОРМАЦІЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗИКІВ ТА ПРОЛОНГАЦІЇЯ ЗБЕРІГАННЯ КОМБІКОРМІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНСЕРВАНТУ

Анотація

Оптимізація живлення сільськогосподарських тварин і птиці базується на збалансованості раціонів, що передбачає контроль за поживними речовинами, корекцію співвідношення енергії та протеїну, а також забезпечення достатнього рівня амінокислот, вітамінів, макро- та мікроелементів. Аналіз змін хімічного складу, поживної цінності та мікробіологічного профілю комбікормів засвідчує, що вміст сирого протеїну, клітковини та золи залишається стабільним під час зберігання. Однак у цей період відбувається деградація ліпідної фракції, а каротин та інші біологічно активні сполуки руйнуються Для підтримання якості та подовження терміну придатності комбікормів застосовують консерванти. Консерванти, які входять до складу комбікормів, виконують критичну функцію для тривалого зберігання продукції, забезпечуючи незмінність поживної цінності та безпеку для тварин. Вони активно пригнічують розвиток цвілевих грибів, шкідливих бактерій та інших патогенних мікроорганізмів, здатних негативно впливати не лише на якість корму, а й на здоров'я тварин, що його споживають. Застосування таких речовин дозволяє уникнути передчасного псування продукту та суттєво знизити ризики втрати його цінних поживних елементів.

Однією з найважливіших властивостей консервантів є їхня здатність оберігати корм від цвілі та мікотоксинів. Ці компоненти створюють несприятливі умови для розвитку грибів

родів Aspergillus, Penicillium і Fusarium, які є головними джерелами утворення мікотоксинів — вкрай небезпечних токсичних сполук для тварин і людини. Надійне запобігання розмноженню таких грибів допомагає зберегти здоров'я поголів'я та мінімізувати ризик негативного впливу на продуктивність тваринництва.
Ключові слова: *варіація, зберігання, консервант, змішування, кислота.*

Стаття надійшла до редакції 12.07.2026
Стаття пройшла рецензування 24.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

УДК 633.11.1:631.53:632.4
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.20

Богдан Лозінський,
здобувач ступеня доктора філософії
Білоцерківський національний аграрний університет, Біла Церква, Україна
ORCID 0009-0003-2068-0525
email lozinskatat@ukr.net

Микола Грабовський,
доктор с.-г. наук, професор
Білоцерківський національний аграрний університет, Біла Церква, Україна
ORCID 0000-0002-8494-7896
email nikgr1977@gmail.com

ФОРМУВАННЯ ДОВЖИНИ ГОЛОВНОГО КОЛОСА ПШЕНИЦІ ЯРОЇ М'ЯКОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ПОЗАКОРЕНЕВИХ ПІДЖИВЛЕНЬ ТА ФУНГІЦИДІВ У ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Анотація

У статті наведено результати досліджень впливу позакореневих підживлень і фунгіцидного захисту на формування довжини головного колоса пшениці м'якої ярої в умовах Правобережного Лісостепу України. Дослідження проводили у 2024–2025 рр. на дослідному полі Білоцерківського національного аграрного університету за двофакторною схемою: фактор А – сорти Оксамит миронівський і Дубравка, фактор В – системи позакореневого застосування фунгіцидів та добрив. Встановлено, що гідротермічні умови років досліджень характеризувалися нерівномірним розподілом опадів, чергуванням періодів надмірного та недостатнього зволоження і підвищеними температурами повітря, що істотно впливало на формування довжини головного колоса.

Виявлено, що найменші показники довжини колоса сформувалися на контрольних варіантах (8,21–8,39 см). Застосування фунгіцидів Амістар Екстра 280 SC та Елатус Ріа 358 SC у поєднанні з карбамідом і $MgSO_4$ збільшувало довжину головного колоса до 8,87–8,96 см, а додавання добрива Нутрівант Плюс Зерновий забезпечувало її подальше зростання. Максимальні значення отримано за комплексного застосування фунгіцидів і позакореневих підживлень у фази ВВСН 21 та ВВСН 39 – 9,07–9,10 см у сорту Оксамит миронівський та 8,77–8,80 см у сорту Дубравка. Встановлено, що сорт Оксамит миронівський характеризувався стабільно більшою довжиною головного колоса та меншою мінливістю показника за різних погодних умов.

Дисперсійний аналіз засвідчив, що у 2024 р. визначальний вплив на формування довжини головного колоса мав агротехнологічний фактор (71,11 %), тоді як у 2025 р. його частка становила 55,78 %, а внесок сортових особливостей зріс до 29,45 %. Водночас взаємодія факторів збільшилася до 3,87 %, що свідчить про посилення ролі поєднання генетичних особливостей сортів із технологічними заходами за менш сприятливих умов вирощування.

Отримані результати підтверджують, що комплексне застосування фунгіцидного захисту та позакореневого підживлення є ефективним елементом технології вирощування пшениці м'якої ярої, забезпечує стабільніше формування довжини головного колоса та сприяє

ефективнішій реалізації продуктивного потенціалу сучасних сортів в умовах кліматичних змін.

Ключові слова: *пшениця яра м'яка, довжина колоса, агротехнологічні чинники, позакореневі підживлення, фунгіциди, мікродобрива, макродобрива*

Вступ. Сучасний етап розвитку аграрної науки в Україні відбувається в умовах глобальних кліматичних змін, що супроводжуються істотним підвищенням середньорічних температур, тривалими повітряно-ґрунтовими посухами та нерівномірним розподілом опадів у весняно-літній період. У таких гідротермічних реаліях особливого значення набуває вирощування пшениці ярої м'якої (Triticum aestivum L.), яка є важливою страховою та продовольчою культурою, проте гостро реагує на дефіцит вологи на ранніх етапах органогенезу. Вона є найбільш розповсюдженою зерновою культурою, займаючи 90-95 % світового виробництва [1].

Пшениця яра за показниками якості не поступається озимій. Більше того, впровадження нових сортів сильних ярих пшениць забезпечує отримання зерна з вищими якісними характеристиками порівняно з озимими сортами за однакових ґрунтово кліматичних умов вирощування [2]. Для розуміння механізмів адаптації культури науковці обґрунтовують глобальні кліматичні виклики та генетичні стратегії реакцією пшениці на посуху, тепло та CO_2 [3] та пропонують інноваційні підходи до селекції сортів, адаптованих до кліматичних викликів [4].

Дослідження продуктивності та стабільності нових сортів пшениці в умовах Степу, Лісостепу та Полісся України демонструє адаптивність сортів до різних гідротермічних умов, що особливо актуально для посушливих регіонів [5]. Одним із головних завдань сучасної селекції та рослинництва є підвищення генетичного потенціалу врожайності пшениці ярої шляхом оптимізації архітектоніки рослин та їх донорно-акцепторних систем, що підтверджується новітніми дослідженнями закордонних вчених. Цей стратегічний напрям особливо актуальний для України в умовах кліматичних змін [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Базовим структурним елементом, що визначає продуктивність окремої рослини, є головний колос, оскільки саме він формує основну частку зернової маси та відображає потенціал врожайності. Він є базовим структурним елементом продуктивності пшениці, а зміна його довжини через селекцію та агротехнічні прийоми є важливим напрямом у рослинництві [7]. Доведено, що колос є центральним органом у формуванні врожайності, оскільки регулює накопичення та розподіл асимілянтів [8] і їх вплив на врожайність культури [9].

Отже, головний колос є базовим структурним елементом продуктивності пшениці, що підтверджується сучасними молекулярними та фізіологічними дослідженнями. Його розвиток і архітектоніка залишаються ключовим об'єктом селекції для підвищення врожайності. Його лінійні параметри, зокрема довжина, безпосередньо впливають на просторове розміщення елементів продуктивності, а у подальшому й на озерненість та масу зерна з колоса, що підтверджено

сучасними вітчизняними дослідженнями. Встановлено, що довжина колоса залежить від генотипу та умов року вирощування та виявлено кореляцію між довжиною колоса та озерненістю [10]. У селекції пшениці ярої м'якої перспективним вважають добір рослин за довжиною колоса. Розміри колоса є важливою ознакою в селекції на продуктивність [11].

Під час селекційних досліджень з пшеницею м'якою ярою встановлено, що довжина колоса у батьківських форм варіювала 8,8–11,3 см та встановлено прямий вплив довжини на кількість зерен та масу зерна з колоса [12]. При доборах за довжиною колоса пшениці озимої м'якої науковці пропонують враховувати щільність колоса [13]. Також встановлено, зо показники довжини колоса та кількості колосків у ньому визначали врожайність і масу 1000 зерен та виявлено значний вплив генотипу та агротехнічних умов на формування продуктивності [14]. Оптимізація систем удобрення підвищує продуктивність колоса [15].

Довжина головного колоса є складною кількісною ознакою, фенотиповий прояв якої контролюється полігенно і суттєво залежить від взаємодії чинників «генотип–середовище». У вітчизняній селекційній практиці вивченню цієї ознаки приділяється значна увага. Дослідженнями провідних установ, зокрема Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла НААН, доведено, що для умов Лісостепу України необхідний постійний скринінг наявного генофонду з метою виділення джерел із високою стабільністю лінійних розмірів колоса, оскільки цей показник часто лімітується стресовими чинниками довкілля [16]. Разом із тим, у науковій літературі триває дискусія щодо кореляційного зв'язку між довжиною колоса та кінцевою врожайністю, оскільки за умов посухи довгий, але пухкий колос може поступатися за продуктивністю щільнішим коротшим аналогам, що вимагає вивчення не лише довжини, а й збалансованості елементів структури врожаю [17].

У світовій науковій практиці акцент змістився на вивчення генетичної архітектури колоса та ідентифікацію локусів кількісних ознак (QTL). Зарубіжні дослідники розглядають морфологію колоса як ключовий фактор оптимізації продуктивності, оскільки оптимальна довжина осі дозволяє пропорційно збільшити кількість зерен без критичного підвищення щільності колоса, що додатково знижує ризик ураження патогенами, зокрема фузаріозом (Fusarium head blight) [18]. Сучасні генетичні дослідження із застосуванням повногеномного пошуку асоціацій (GWAS) дозволили картувати ключові локуси, що відповідають за лінійні розміри колоса. Зокрема, встановлено наявність стабільного локусу QSl/Sc.cib-2D.1 на хромосомі 2DS, який взаємодіє з геном короткостебловості Rht8 і визначає баланс між довжиною та компактністю колоса [19]. Крім того, виявлено значущий локус qSl-2B, експресія та адитивні ефекти якого інтегруються з іншими хромосомними регіонами (qSl-2D, qSl-5A), демонструючи високу пластичність залежно від умов мінерального, зокрема азотного, живлення [19].

Необхідність комплексного оцінювання довжини головного колоса у сучасних сортів пшениці м'якої ярої зумовлена потребою виробництва у високопродуктивних і водночас екологічно пластичних генотипах. Визначення норми реакції сучасних сортів вітчизняної та зарубіжної селекції за цією ознакою в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах дозволить виділити цінний вихідний матеріал для селекційних програм [20]. Окрім того, встановлення закономірностей мінливості лінійних параметрів колоса під впливом гідротермічних чинників року є теоретичною основою для оптимізації технологічних заходів вирощування, спрямованих на максимальну реалізацію біологічного потенціалу сучасних сортів.

Необхідність комплексного оцінювання довжини головного колоса у сучасних сортів пшениці м'якої ярої зумовлена потребою виробництва у високопродуктивних і водночас екологічно пластичних генотипах. Визначення норми реакції сучасних сортів за цією ознакою в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах дозволить виділити цінний вихідний матеріал для селекційних програм [21, 22].

Окрім того, встановлення закономірностей мінливості лінійних параметрів колоса під впливом гідротермічних чинників року є теоретичною основою для оптимізації технологічних заходів вирощування, спрямованих на максимальну реалізацію біологічного потенціалу сучасних сортів. Довжина колоса позитивно корелює з надземною біомасою, індексом врожаю й врожайністю [23].

Довжина колоса пшениці ярої безпосередньо залежить від температурного режиму, кількості опадів (вологозабезпеченості) та часу настання критичних фаз вегетації. Показник довжини головного колоса помітно коливається за роками вирощування у сприятливі за вологою та помірно теплі роки він сягає 8,6–10,6 см, тоді як у посушливі чи стресові періоди скорочується до 7,0–7,9 см. [24].

Встановлено, що використання інтенсивних технологій вирощування здатне частково нівелювати несприятливий вплив погодних факторів на формування окремих елементів продуктивності, зокрема довжину головного колоса [25].

Отже, довжина головного колоса є одним із ключових морфологічних показників, який визначає реалізацію потенціалу продуктивності пшениці ярої м'якої та істотно залежить від взаємодії генотипу, погодних умов і технологічних заходів вирощування. Водночас питання впливу позакореневих підживлень і фунгіцидного захисту на формування цієї ознаки в сучасних сортів в умовах Правобережного Лісостепу України залишається недостатньо дослідженим. Тому проведення таких досліджень є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки їх результати сприятимуть удосконаленню елементів технології вирощування, підвищенню адаптивності рослин та реалізації їх продуктивного потенціалу в умовах кліматичних змін.

Метою дослідження було встановлення особливостей формування довжини головного колоса пшениці ярої залежно від застосування

позакореневих підживлень та фунгіцидів в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріал та методика. Польові дослідження проводили у 2024–2025 роках на дослідному полі навчально виробничого центру Білоцерківського національного аграрного університету, що розташований у Правобережному Лісостепу України. Ґрунт ділянки представлений типовим глибоким малогумусним чорноземом крупнопилувато легкосуглинкової текстури на лесі. Перед закладанням дослідів орний шар (0–20 см) характеризувався такими агрохімічними показниками: вміст гумусу 3,15 % (метод Тюріна) [26], pH сольової витяжки – 6,20 (потенціометричний метод) [27], гідролітична кислотність – 2,27 мг екв/100 г ґрунту (метод Каппена) [28], вміст лужногідролізованого азоту – 98 мг/кг (метод Корнфілда) [29], рухомого фосфору – 106 мг/кг та обмінного калію – 88 мг/кг (метод Чирікова) [30]. Загалом ґрунт нейтральний за реакцією, малозабезпечений доступними формами азоту, добре забезпечений рухомим фосфором і середньо забезпечений калієм.

Дослідження виконували за двофакторною схемою: фактор А – сорти пшениці м'якої ярої Оксамит миронівський та Дубравка, фактор В – позакореневе застосування фунгіцидів і добрив. 1. Без застосування (контроль) – обприскування водою у фазі кущення (ВВСН 21–23); 2. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + сечовина (карбамід, CO(NH2)2) (7 кг/га) + сульфат магнію (MgSO4) (1 кг/га) у фазі кущення (ВВСН 21–23); 3. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + сечовина (карбамід, CO(NH2)2) (7 кг/га) + сульфат магнію (MgSO4) (1 кг/га) у фазі кущення (ВВСН 21–23); 4. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + Нутрівант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазі кущення (ВВСН 21–23); 5. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + Нутрівант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазі кущення (ВВСН 21–23); 6. Без застосування (контроль) – обприскування водою у фазі кущення (ВВСН 21–23) і повторне у фазі формування і розвитку колоса (ВВСН 41–45); 7. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + сечовина (карбамід, CO(NH2)2) (7 кг/га) + сульфат магнію (MgSO4) (1 кг/га) у фазі кущення (ВВСН 21–23) та фазі формування і розвитку колоса (ВВСН 41–45); 8. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + сечовина (карбамід, CO(NH2)2) (7 кг/га) + сульфат магнію (MgSO4) (1 кг/га) у фазі кущення (ВВСН 21–23) та фазі формування і розвитку колоса (ВВСН 41–45); 9. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + сечовина (карбамід, CO(NH2)2) (7 кг/га) + сульфат магнію (MgSO4) (1 кг/га) + Нутрівант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазі кущення (ВВСН 21–23) та фазі формування і розвитку колоса (ВВСН 41–45); 10. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + сечовина (карбамід, CO(NH2)2) (7 кг/га) + сульфат магнію (MgSO4) (1 кг/га) + Нутрівант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазі кущення (ВВСН 21–23) та фазі формування і розвитку колоса (ВВСН 41–45).

У всіх варіантах досліду, включно з контролем, під час передпосівної культивації застосовували мінеральні добрива: аміачну селітру (NH_4NO_3) у дозі N35 та нітроамофоску марки NPK 17:17:17 у нормі 1 ц/га. Насіння пшениці протруювали препаратом «Селест Макс 165 FS» із нормою витрати 2 л/т зерна. Попередником культури була кукурудза на зерно. Варіанти досліду розміщували

рендомізовано, систематично, у триразовій повторності. Площа ділянки становила 30 м², облікова – 24 м². Дослідження проводили відповідно до методичних рекомендацій [31]. Довжину колоса вираховували за середнім зразком із 25 рослин у триразовій повторності [32].

Агротехнічні прийоми вирощування пшениці м'якої ярої відповідали загальноприйнятим для умов Лісостепу України, за винятком факторів, що були предметом дослідження. Сівбу здійснювали сівалкою «Клен 1,5» з нормою висіву 5 млн схожих зерен на гектар у такі строки: 26 березня 2024 р. та 19 березня 2025 р. Позакореневе внесення фунгіцидів «Амістар Екстра 280 SC» (0,6 л/га), «Елатус Ріа 358 SC» (0,5 л/га), карбаміду (7 кг/га), сульфату магнію (1 кг/га) та «Нутріванту Плюс Зернового» (2 кг/га) проводили у фазі кущення (ВВСН 21–23) – варіанти 2–5. У варіантах 7–10 перше позакореневе підживлення здійснювали у фазі кущення (ВВСН 21–23), а повторне – у фазі формування та розвитку колоса (ВВСН 41–45).

Виклад основного матеріалу дослідження. Метеорологічні умови за вегетаційний період пшениці м'якої ярої у 2024–2025 рр. відображають динаміку кількості опадів та середньомісячної температури повітря впродовж зимово-весняного періоду, що охоплює етапи формування та розвитку рослин (табл.1).

У зимові місяці спостерігалися значні коливання показників. У 2024 р. кількість опадів була близькою до багаторічної норми, тоді як у 2025 р. – істотно нижчою. Температура повітря у 2024 р. переважно перевищувала середні багаторічні значення, що свідчить про м'яку зиму, тоді як у 2025 р. відзначено короткочасні періоди похолодання.

У березні–квітні погодні умови були контрастними. У 2024 р. спостерігалися інтенсивні опади у другій декаді березня та квітня, що сприяло накопиченню вологи в ґрунті, тоді як у 2025 р. кількість опадів була мінімальною. Температурний режим у цей період залишався вищим за середні багаторічні показники, що забезпечувало швидке проростання та розвиток рослин.

У травні відзначено підвищення температури до 14–19 °С у 2024 р. та 11–17 °С у 2025 р., що створювало сприятливі умови для формування колоса. Опади у травні 2025 р. перевищували середні багаторічні значення, тоді як у 2024 р. їх кількість була незначною.

За результатами проведених досліджень встановлено, що погодні умови 2024–2025 рр. характеризувалися чергуванням періодів надмірного та недостатнього вологозабезпечення, нерівномірним розподілом атмосферних опадів і підвищеними середньомісячними температурами повітря порівняно з багаторічними середніми значеннями. Сукупна дія цих чинників створювала контрастні умови вегетації, що могло істотно впливати на інтенсивність ростових процесів і формування елементів продуктивності пшениці ярої м'якої. Дефіцит вологи в березні–квітні, який спостерігався у 2025 р., ймовірно, обмежував інтенсивність ростових процесів у критичні фази органогенезу, що

могло сприяти зменшенню довжини головного колоса. Водночас нерівномірний розподіл опадів із чергуванням посушливих періодів та інтенсивних злив створював неоднорідні умови вологозабезпечення рослин, що могло зумовлювати асинхронність їх розвитку та підвищувати варіабельність показників довжини колоса.

Таблиця 1

Динаміка опадів та температури повітря під час вирощування пшениці ярої (2024–2025 рр.)

Місяць	Декада	Опади, мм			Температура повітря, °С		
		2024 р.	2025 р.	середні багаторічні	2024 р.	2025 р.	середні багаторічні
Грудень		46*	55**	44	0,5*	0,0**	0,4
Січень		40	15	35	-2,2	2,0	-5,9
Лютий		39	3	33	3,3	-3,8	-4,4
Березень	I	0,0	0,0	9	2,4	6,3	-2,0
	II	43,8	18	9	2,2	6,2	-0,3
	III	6,2	7	12	8,3	7,8	3,1
Квітень	I	5,3	23	14	14,1	4,8	7,0
	II	39,8	5	17	11,6	11,4	7,8
	III	32,9	0,0	16	11,5	14,4	10,4
Травень	I	0,8	17	16	14,8	11,6	13,5
	II	0,0	23	12	12,9	10,6	15,3
	III	11,8	44	18	19,4	16,7	15,8

*Примітка. * – грудень 2023 р., ** – грудень 2024 р.*

Підвищені температури повітря у весняний період (квітень–травень 2024 р.) прискорювали проходження окремих фаз розвитку рослин і формування колоса, проте за одночасного дефіциту вологи могли обмежувати його лінійний ріст, що проявлялося тенденцією до зменшення довжини головного колоса.

Аналіз отриманих даних свідчить, що довжина головного колоса істотно залежала як від сортових особливостей, так і від застосованих технологічних заходів. Найменші середні значення у обох сортів відмічено на контрольних варіантах (1 та 6), де проводили лише обприскування водою (табл. 2). У сорту Оксамит миронівський вони становили 8,37–8,39 см, тоді як у сорту Дубравка – 8,21–8,23 см.

Застосування фунгіцидів Амістар Екстра 280 SC та Елатус Ріа 358 SC у поєднанні з карбамідом (7 кг/га) і сульфатом магнію (1 кг/га) сприяло достовірному збільшенню довжини головного колоса порівняно з контролем. У сорту Оксамит миронівський середні показники зросли до 8,87–8,96 см, а у сорту Дубравка – до 8,55–8,71 см, що перевищувало контроль відповідно на 0,50–0,59 та 0,32–0,48 см.

Додавання до бакової суміші добрива Нутрівант Плюс Зерновий забезпечило подальше покращення показника. За одноразового внесення препаратів у фазі ВВСН 21 середня довжина головного колоса у сорту Оксамит

Таблиця 2

Зміна довжини головного колоса у сортів пшениці м'якої ярої під впливом досліджуваних факторів, см

Варіанти досліду	Оксамит миронівський			Дубравка		
	2024	2025	середнє	2024	2025	середнє
1. Контроль – обприскування водою у фазі початку кущення (ВВСН 21).	8,65	8,08	8,37	8,45	7,96	8,21
2. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + карбамід (7 кг/га) + $MgSO_4$ (1 кг/га) у фазі ВВСН 21.	9,08	8,73	8,91	8,92	8,35	8,64
3. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + карбамід (7 кг/га) + $MgSO_4$ (1 кг/га) у фазі ВВСН 21.	9,05	8,69	8,87	8,88	8,22	8,55
4. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + Нутрівант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазі ВВСН 21	9,18	8,84	9,01	8,96	8,36	8,66
5. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + Нутрівант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазі ВВСН 21	9,14	8,81	8,98	8,94	8,31	8,63
6. Контроль – обприскування водою у фазах ВВСН 21 та ВВСН 39.	8,68	8,10	8,39	8,49	7,97	8,23
7. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + карбамід (7 кг/га) + $MgSO_4$ (1 кг/га) у фазах ВВСН 21 та ВВСН 39.	9,13	8,79	8,96	8,97	8,44	8,71
8. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + карбамід (7 кг/га) + $MgSO_4$ (1 кг/га) у фазах ВВСН 21 та ВВСН 39.	9,11	8,74	8,93	8,96	8,43	8,7
9. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + карбамід (7 кг/га) + $MgSO_4$ (1 кг/га) + Нутрівант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазах ВВСН 21 та ВВСН 39.	9,26	8,94	9,10	9,04	8,56	8,80
10. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + карбамід (7 кг/га) + $MgSO_4$ (1 кг/га) + Нутрівант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазах ВВСН 21 та ВВСН 39.	9,23	8,91	9,07	9,03	8,51	8,77
НІР A_{05}	0,06			0,07		
НІР B_{05}	0,13			0,16		
НІР AB_{05}	0,18			0,22		

миронівський досягала 8,98–9,01 см, а у сорту Дубравка – 8,63–8,66 см. Найвищі показники отримано за комплексного застосування фунгіцидів, карбаміду, $MgSO_4$ та Нутрівант Плюс Зерновий у фазах ВВСН 21 і ВВСН 39 (варіанти 9–10). У цих варіантах середня довжина головного колоса становила 9,07–9,10 см

у сорту Оксамит миронівський та 8,77–8,80 см у сорту Дубравка, що перевищувало контрольні варіанти відповідно на 0,68–0,73 та 0,54–0,59 см.

Порівняльний аналіз сортів показав, що Оксамит миронівський у всіх варіантах досліду формував довший головний колос, ніж сорт Дубравка. Різниця між сортами залежно від варіанта становила 0,16–0,30 см, що свідчить про вищий генетичний потенціал сорту Оксамит миронівський щодо формування цього елемента структури врожаю. Водночас сорт Дубравка також позитивно реагував на застосування фунгіцидів і позакореневих підживлень, хоча абсолютний приріст показника був дещо нижчим.

Погодні умови років досліджень істотно вплинули на формування довжини головного колоса. В усіх варіантах досліду показники 2025 року були нижчими порівняно з 2024 роком. У сорту Оксамит миронівський довжина колоса у 2024 році змінювалася від 8,65 до 9,26 см, тоді як у 2025 році – від 8,08 до 8,94 см, а зниження становило 0,32–0,58 см. У сорту Дубравка цей показник варіював відповідно від 8,45–9,04 до 7,96–8,56 см, а різниця між роками досягала 0,48–0,66 см, що свідчить про вищу чутливість сорту до несприятливих гідротермічних умов.

Слід відзначити, що найбільше зниження довжини головного колоса по рокам спостерігалося на контрольних варіантах, тоді як застосування фунгіцидів у поєднанні з позакореневими підживленнями зменшувало негативний вплив стресових погодних чинників. Найбільш стабільними виявилися комплексні схеми живлення та захисту (варіанти 9–10), де різниця між роками була найменшою, що свідчить про їхню високу ефективність у підтриманні формування продуктивного колоса за менш сприятливих умов вирощування.

Статистичний аналіз результатів підтвердив достовірний вплив як сорту, так і застосування фунгіцидів і позакореневих підживлень на довжину головного колоса. Отримані результати засвідчують, що комплексне застосування фунгіцидного захисту з позакореневим підживленням карбамідом, сульфатом магнію та добривом Нутрівант Плюс Зерновий у фазах ВВСН 21 і ВВСН 39 забезпечує найкращу реалізацію потенціалу сучасних сортів пшениці м'якої ярої та частково компенсує негативний вплив несприятливих погодних умов на формування цього важливого елемента структури врожаю.

Аналіз міжрічної мінливості показав, що у 2025 році довжина головного колоса зменшилася в усіх варіантах досліду порівняно з 2024 роком. Середнє зниження у сорту Оксамит миронівський становило 0,38 см, тоді як у сорту Дубравка – 0,55 см, що свідчить про вищу екологічну пластичність та стабільність першого сорту за менш сприятливих гідротермічних умов (табл. 3).

Найбільше зменшення довжини колоса відмічено на контрольних варіантах (1 і 6), де воно становило 0,57–0,58 см у сорту Оксамит миронівський та 0,49–0,52 см у сорту Дубравка. Застосування фунгіцидів у поєднанні з позакореневими підживленнями послаблювало негативний вплив погодних умов, зменшуючи міжрічне варіювання показника.

Таблиця 3

Варіювання довжини головного колоса пшениці м'якої ярої у роки досліджень

№ варіанта	Варіант досліду	Оксамит миронівський (2024–2025)	Дубравка (2024–2025)
1	Контроль (ВВСН 21)	−0,57	−0,49
2	Амістар Екстра + карбамід + $MgSO_4$ (ВВСН 21)	−0,35	−0,57
3	Елатус Ріа + карбамід + $MgSO_4$ (ВВСН 21)	−0,36	−0,66
4	Амістар Екстра + Нутрівант Плюс (ВВСН 21)	−0,34	−0,60
5	Елатус Ріа + Нутрівант Плюс (ВВСН 21)	−0,33	−0,63
6	Контроль (ВВСН 21 та 39)	−0,58	−0,52
7	Амістар Екстра + карбамід + $MgSO_4$ (ВВСН 21 та 39)	−0,34	−0,53
8	Елатус Ріа + карбамід + $MgSO_4$ (ВВСН 21 та 39)	−0,37	−0,53
9	Амістар Екстра + карбамід + $MgSO_4$ + Нутрівант Плюс (ВВСН 21 та 39)	−0,32	−0,48
10	Елатус Ріа + карбамід + $MgSO_4$ + Нутрівант Плюс (ВВСН 21 та 39)	−0,32	−0,52

Найвищу стабільність формування довжини головного колоса забезпечили комплексні схеми із дворазовим застосуванням фунгіцидів, карбаміду, $MgSO_4$ та Нутрівант Плюс Зерновий (варіанти 9–10). У цих варіантах зниження показника у сорту Оксамит миронівський становило лише 0,32 см, а у сорту Дубравка – 0,48–0,52 см, що є найменшими значеннями серед усіх досліджуваних варіантів. Це підтверджує, що інтегроване застосування фунгіцидного захисту та позакореневого підживлення підвищує стійкість рослин до несприятливих погодних умов і сприяє стабільнішому формуванню головного колоса.

У проведених нами дослідженнях було визначено частку впливу досліджуваних факторів на формування довжини головного колоса пшениці м'якої ярої, результати чого наведено на рис. 1 та рис. 2.

У 2024 р. найбільшу частку у формуванні цієї ознаки мав фактор В (позакореневе застосування фунгіцидів і добрив), який становив 71,11 % (рис. 1). Це свідчить про домінуючу роль технологічних заходів у формуванні довжини головного колоса, оскільки саме оптимізація системи захисту та позакореневого живлення забезпечує сприятливі умови для росту й розвитку рослин та реалізації їх продуктивного потенціалу.

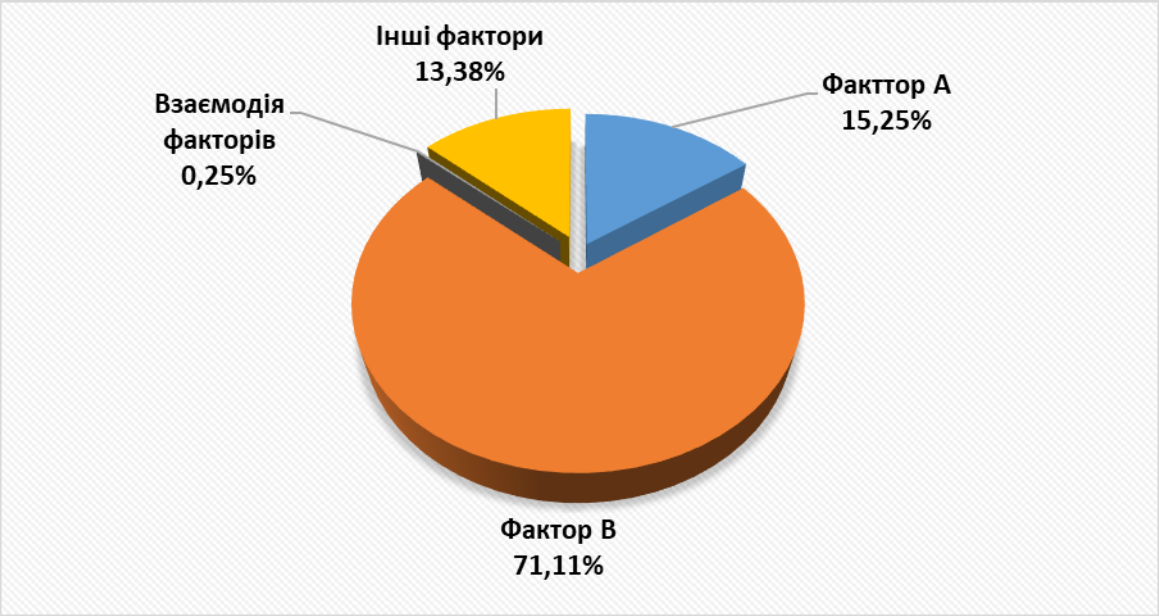


Рис. 1. **Частка впливу факторів на формування довжини головного колоса пшениці м'якої ярої у 2024 році**

Частка впливу фактора А (сортові особливості) становила 15,25 %, що вказує на істотну роль генотипу у формуванні довжини головного колоса. Водночас його вплив був значно меншим порівняно з агротехнічними заходами, що свідчить про визначальне значення технології вирощування для реалізації генетичного потенціалу сортів.

На частку інших факторів припадало 13,38 %. Ця складова характеризує вплив неконтрольованих чинників, зокрема погодних умов, ґрунтових особливостей та інших факторів середовища, які також брали участь у формуванні досліджуваної ознаки, хоча їхній внесок був меншим порівняно з впливом технологічних заходів.

Взаємодія факторів А × В становила лише 0,25 %, що свідчить про незначний сумісний вплив сортових особливостей і системи позакореневого живлення та фунгіцидного захисту на формування довжини головного колоса за умов проведення досліджень.

Аналіз результатів дисперсійного аналізу за 2025 р. (рис. 2) свідчить, що найбільший вплив на формування довжини головного колоса пшениці м'якої ярої мав фактор В (позакореневе застосування фунгіцидів і добрив), частка якого становила 55,78 %. Це підтверджує визначальну роль технологічних заходів у формуванні досліджуваної ознаки навіть за менш сприятливих погодних умов.

Частка впливу фактора А (сортові особливості) становила 29,45 %, що майже вдвічі перевищувало відповідний показник 2024 року. Це свідчить про посилення ролі генотипу у формуванні довжини головного колоса в умовах стресового року та підтверджує важливість добору сортів із високою адаптивністю.

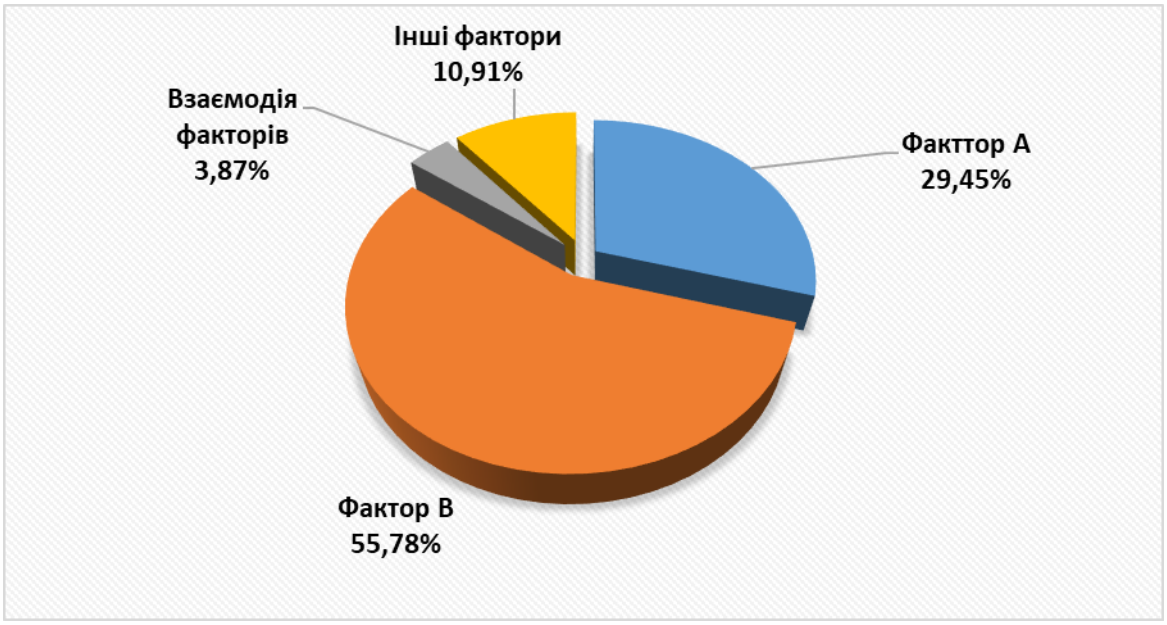


Рис. 2. Частка впливу факторів на формування довжини головного колоса пшениці м'якої ярої у 2025 році

На частку інших факторів припадало 10,91 %, що характеризує вплив неконтрольованих чинників, зокрема погодних умов, особливостей ґрунту та інших факторів середовища. Хоча їхній внесок був меншим порівняно з основними досліджуваними факторами, він також впливав на формування ознаки.

Взаємодія факторів А × В становила 3,87 %, що суттєво перевищувало відповідний показник у 2024 році (0,25 %). Це свідчить про посилення взаємодії між сортовими особливостями та системою позакореневого живлення і фунгіцидного захисту за менш сприятливих гідротермічних умов вирощування.

Отже, у 2025 році провідним чинником формування довжини головного колоса залишалися позакореневі підживлення та фунгіцидний захист, однак значення сортових особливостей і взаємодії факторів істотно зросло. Це підтверджує доцільність комплексного підходу, що поєднує використання адаптивних сортів із оптимізованою системою позакореневого живлення та фунгіцидного захисту для забезпечення стабільного формування продуктивності пшениці м'якої ярої.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Встановлено, що застосування позакореневих підживлень у поєднанні з фунгіцидним захистом є ефективним технологічним прийомом формування довжини головного колоса пшениці м'якої ярої в умовах Правобережного Лісостепу України. Комплексне використання фунгіцидів Амістар Екстра 280 SC або Елатус Ріа 358 SC разом із карбамідом, $MgSO_4$ та добривом Нутрівант Плюс Зерновий у фази ВВСН 21 і ВВСН 39 забезпечило найвищі показники довжини головного колоса. Максимальні значення відмічено у сорту Оксамит миронівський (9,07–9,10 см), що на 0,68–0,73 см перевищувало контрольні варіанти.

Виявлено, що ефективність досліджуваних технологічних прийомів значною мірою залежала від гідротермічних умов року. У менш сприятливому

2025 році довжина головного колоса зменшилася в усіх варіантах досліду, однак комплексне застосування фунгіцидного захисту та позакореневого живлення забезпечило найменше варіювання показника між роками, що свідчить про їх стабілізуючий вплив на формування цієї ознаки.

Дисперсійний аналіз показав, що у 2024 році домінуючим фактором формування довжини головного колоса були технологічні заходи (71,11 %), тоді як у 2025 році їхній внесок зменшився до 55,78 %, а значення сортових особливостей зросло до 29,45 %. Це свідчить про посилення ролі генотипу за стресових погодних умов та необхідність поєднання адаптивних сортів із оптимізованими системами живлення і захисту рослин.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні впливу різних систем позакореневого живлення та фунгіцидного захисту на формування інших елементів структури врожаю і показників якості зерна сучасних сортів пшениці м'якої ярої за різних гідротермічних умов. Актуальним також є оцінювання фізіолого-біохімічних механізмів адаптації рослин до абіотичних стресів, встановлення взаємозв'язків між довжиною головного колоса, урожайністю та якістю зерна, а також удосконалення інтегрованих технологій вирощування, спрямованих на підвищення стабільної продуктивності культури.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Giraldo P., Benavente E., Manzano Agugliaro F., Gimenez E. (2019). Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. Agronomy, 9. P. 352. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy9070352 .
2. Молдован Ж.А., Молдован В.Г., Кирилюк Д.П. Формування продуктивності сортами пшениці м'якої ярої в західному Лісостепу. *Аграрні інновації*. 2026. № 35. С. 212-217. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2026.35.31
3. Zbyněk Milec, Kashif Nawaz, Swati Puranik, Anna Nowicka, Martin Kovačik, Hana Findurová, Emmanuel Opoku, Ales Pecinka, Karel Klem, Otmar Urban, Pranav Pankaj Sahu. Integrative morpho-physiological and transcriptomic insights into wheat responses to combined drought, heat, and elevated CO_2 under future climate conditions, *Plant Stress*, Volume 18, 2025, 101115, ISSN 2667-064X, https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.101115.
4. Tripathi, R., Singh, D., Imam, Z. et al. Genetic architecture and breeding strategies for enhancing wheat (*Triticum aestivum* L.) tolerance to combined heat, drought, and salinity stresses. *Mol Biol Rep* 53, 437 (2026). https://doi.org/10.1007/s11033-026-11613-4
5. Кирильчук А.М., Дутова Г.А., Гринів С.М. та ін. Yield plasticity of new varieties of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in different soil and climatic conditions of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, Vol. https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.297224
6. Rosado-Souza L., Yokoyama R., Sonnewald U., and Fernie A.R. (2023). Understanding source–sink interactions: Progress in model plants and translational research to crops. *Mol. Plant*. 16, 96–121. https://doi.org/10.1016/j.molp.2022.11.015
7. Murashko, L., Humeniuk, O., Kyrylenko, V., Zamlila, N., Suddenko, Yu., & Novytska, N. (2024). Adaptive properties and breeding value of F3 hybrid combinations of winter bread wheat for spike productivity traits. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 20(2). https://doi.org/10.31548/dopovidi.2(108).2024.011

8. Vergara-Diaz O, Vatter T, Vicente R, Obata T, Nieto-Taladriz MT, Aparicio N, Carlisle Kefauver S, Fernie A, Araus JL. Metabolome Profiling Supports the Key Role of the Spike in Wheat Yield Performance. Cells. 2020 Apr 21;9(4):1025. https://doi.org/10.3390/cells9041025 . PMID: 32326207; PMCID: PMC7226616.
9. Xiang Zhang, Yi Peng Wang, Xiehai Song, Liang-Zi Zhou, Haixia Yu, Lei Yang, Yan Kai Wang, Xin Yu Wang, Xin Yan Wan, Yongqi Liu, Yan Shi, Zhiliang Yue, Yifeng Hou, Xian Sheng Zhang, Bosheng Li, Ying Hua Su, A single-cell-resolution spatial transcriptomic atlas decodes wheat spike development and yield potential. *Molecular Plant*, Volume 19, Issue 2, 2026, Pages 402-424, ISSN 1674-2052, https://doi.org/10.1016/j.molp.2025.12.020 .
10. Федоренко М. В., Федоренко І. В., Кузьменко Є. А., Близнюк Р. М. Мінливість показників елементів продуктивності колекційних зразків пшениці м'якої ярої в умовах Лісостепу України. *Зернові культури*. Том 7. № 2. 2023. С. 270–277 https://doi.org/10.31867/2523-4544/0286
11. Холод С., Кузьмишина Н. Характеристика зразків пшениці м'якої ярої розсадника 26 TH SEMIARID WHEAT YT (26 SAWYT) в зоні південного Лісостепу України. *Grail of Science*, 2024 (35), 160–165. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.01.2024.026
12. Федоренко М. В., Федоренко І. В., Близнюк Р. М. Трансгресивна мінливість у гібридних популяціях F_2 пшениці ярої *Triticum aestivum* L. та Triticum durum Desf. за елементами продуктивності колосу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2024. Вип. 76 (1). С.81-89. https://doi.org10.32636/01308521.2024-(76)-1-8
13. Жупина А.Ю., Базалій Г.Г., Усик Л.О., Марченко Т.Ю., Лавриненко Ю.О. Успадкування довжини колоса гібридами пшениці озимої різного еколого-генетичного походження в умовах зрошення. Аграрні інновації, 2022. №11. С. 74-82. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.10
14. Новак Ж.М. Продуктивність рослин сортозразків пшениці твердої ярої за різних норм висіву. *Збірник наукових праць Уманського національного університету*, 2018. Випуск №93. Частина 1. С.145-157. https://doi.org10.31395/2415-8240-2018-93-1-145-157
15. Stasiv, O., Dubytskyi, O., Kachmar, O., Dubytska, A., & Vavrynovych, O. (2023). Patterns of winter wheat ear productivity formation depending on the content of trace elements in the soil. *Scientific Horizons*, 26(8), 9-22. https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.09
16. Демидов О. А., Хоменко С. О., Чугункова Т. В., Федоренко І. В. Урожайність та гомеостатичність колекційних зразків пшениці ярої. Вісн. аграр. науки. 2019. № 9 (798). С. 47–51. https://doi.org/20.31073/agrovisnyk201909-07
17. Хоменко С., Солона В., Зварун Т. Особливості селекції пшениці ярої в умовах Лісостепу України. *Plant Breeding and Seed Production*. 2016. С.181-191. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2011.66595 .
18. Wang M, Lu J, Liu R, Li Y, Ao D, Wu Y and Zhang L (2023) Identification and validation of a major quantitative trait locus for spike length and compactness in the wheat (Triticum aestivum L.) line Chuanyu12D7. Front. *Plant Sci.* 14:1186183. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1186183
19. Jiang, T., Meng, L., Ji, C., Wang, Z., Cao, H., Sun, R., Xu, K., Meng, X., Yang, X., & Zhao, Y. (2025). Identification of Spike Length Gene and Development of KASP Markers in Wheat. *Plants*, *14*(23), 3703. https://doi.org/10.3390/plants14233703
20. Ding, H., Wang, C., Cai, Y. *et al.* Characterization of a wheat stable QTL for spike length and its genetic effects on yield-related traits. *BMC Plant Biol* 24, 292 (2024). https://doi.org/10.1186/s12870-024-04963-3
21. Лозінський М.В., Самойлик М.О., Устинова Г.Л. Особливості формування довжини головного колоса сортами пшениці (*T. aestivum*) озимої різних екотипів/ Матеріали міжнародної наукової конференції: «Зернова галузь–проблеми та перспективи технологічного забезпечення» з нагоди 100-річчя від дня народження доктора с.-г. наук, професора, академіка НААН Валентина Сергійовича Цикова, 12–13 жовтня 2023 р. м. Дніпро, 2023. С. 30–31. http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/9132

22. Дутова Г. А., Києнко З. Б., Павлюк Н. В. Урожайність та якість нових сортів пшениці м'якої озимої (Triticum aestivum L.) у різних ґрунтово-кліматичних умовах. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2024. Т. 20, № 4. С. 227-233. URL: http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001558129
23. C. Li, G. Bai, B. F. Carver, S. Chao & Z. Wang. (2016). Mapping quantitative trait loci for plant adaptation and morphology traits in wheat using single nucleotide polymorphisms. *Euphytica*208, 299–312. https://doi.org/10.1007/s10681-015-1594-x
24. Вахній С.П., Войтко А.В. Структура врожаю та якість зерна пшениці м'якої ярої залежно від елементів технології вирощування. *Таврійський науковий вісник*, 2024. № 138. С.22-33. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.3
25. Олійник К.М., Юла В.М. Морфофізіологічні особливості формування продуктивності пшениці ярої в умовах зміни клімату. *Вісник аграрної науки.* 2019, №11 (800). С.34-41 https://doi.org/10.31073/agrovisnyk2019011-05
26. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. На заміну ГОСТ 26213-91, чинний від 2004–04–30. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 9 с.
27. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення pH (ISO 10390:2005, IDT). На заміну ДСТУ ISO 10390-2001 ; чинний від 2009-10-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 4 с.
28. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Чинний від 2006-01-01. Київ Держспоживстандарт України, 2005. 30 с.
29. ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда. Чинний від 2016-07-01. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 5 с.
30. ДСТУ 4115:2002. Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. На заміну ГОСТ 26204-91; чинний від 2003-01-01. Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. 6 с.
31. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М., Пузік Л. М., Попов С. І., Музафаров Н. М., Бухало В. Я., Криштоп Є. А. Дослідна справа в агрономії: навч. посібник: у 2 кн. – Кн. 2. Статистична обробка результатів агрономічних досліджень. Харків: Майдан, 2016. 342 с.
32. Ермантраут Е. Р., Карпук Л. М., Вахній С. П., Козак Л. А., Павліченко А. А., Філіпова Л. М. Методика наукових досліджень. Біла Церква : ТОВ «Білоцерківдрук», 2018. 104 с.

Bohdan Lozinskyi – PhD student
Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine
orcid.org/0009-0003-2068-0525
lozinskatat@ukr.net

Mykola Hrabovskyi – Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine
orcid.org/0000-0002-8494-7896
nikgr1977@gmail.com

Formation of the main spike length of wheat soft spring depending on foliar fertilization and fungicides in the Right-bank Forest-steppe of Ukraine

Abstract

The article presents the results of a study on the effect of foliar fertilisation and fungicide protection on the formation of the main spike length in spring wheat under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The experiments were conducted in 2024–2025 at the experimental field of Bila Tserkva National Agrarian University using a two-factor design: Factor A – the spring

wheat cultivars Oksamyt Myronivskyi and Dubravka; Factor B – different systems of foliar application of fungicides and fertilisers. The hydrothermal conditions during the study years were characterised by an uneven distribution of precipitation, alternating periods of excessive and insufficient moisture, and elevated air temperatures, which significantly affected the formation of the main spike length.

The lowest values of spike length were recorded in the control treatments (8.21–8.39 cm). The application of the fungicides Amistar Extra 280 SC and Elatus Ria 358 SC combined with urea and $MgSO_4$ increased the main spike length to 8.87–8.96 cm, while the addition of Nutrivant Plus Cereals fertiliser resulted in a further increase. The highest values were obtained with the combined application of fungicides and foliar fertilisers at BBCH growth stages 21 and 39, reaching 9.07–9.10 cm for the cultivar Oksamyt Myronivskyi and 8.77–8.80 cm for Dubravka. The cultivar Oksamyt Myronivskyi consistently produced longer spikes and exhibited lower variation in this trait under contrasting weather conditions.

Analysis of variance showed that in 2024 the dominant contribution to the formation of the main spike length was made by the agrotechnological factor (71.11%), whereas in 2025 its contribution decreased to 55.78%, while the influence of cultivar characteristics increased to 29.45%. At the same time, the interaction between the studied factors increased to 3.87%, indicating a greater importance of combining the genetic potential of cultivars with optimised crop management practices under less favourable growing conditions.

The obtained results confirm that the integrated application of fungicide protection and foliar fertilisation is an effective component of spring wheat cultivation technology, ensuring more stable formation of the main spike length and promoting a more efficient realisation of the productivity potential of modern cultivars under climate change conditions.

Keywords: *spring wheat, main spike length, agrotechnological factors, foliar fertilisation, fungicides, micronutrient fertilisers, macronutrient fertilisers.*

References

1. Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., & Gimenez, E. (2019). Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. *Agronomy, 9*(7), 352. https://doi.org/10.3390/agronomy9070352
2. Moldovan, Zh. A., Moldovan, V. G., & Kyryliuk, D. P. (2026). Formation of productivity by varieties of spring soft wheat in the Western Forest-Steppe. *Agrarian Innovations, 35*, 212–217. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2026.35.31
3. Milec, Z., Nawaz, K., Puranik, S., Nowicka, A., Kovačik, M., Findurová, H., Opoku, E., Pecinka, A., Klem, K., Urban, O., & Sahu, P. P. (2025). Integrative morpho-physiological and transcriptomic insights into wheat responses to combined drought, heat, and elevated CO_2 under future climate conditions. *Plant Stress, 18*, 101115. https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.101115
4. Tripathi, R., Singh, D., Imam, Z., et al. (2026). Genetic architecture and breeding strategies for enhancing wheat (*Triticum aestivum L.*) tolerance to combined heat, drought, and salinity stresses. *Molecular Biology Reports, 53*, 437. https://doi.org/10.1007/s11033-026-11613-4
5. Kyrylchuk, A. M., Dutova, G. A., Hryniv, S. M., et al. (2024). Yield plasticity of new varieties of soft winter wheat (*Triticum aestivum L.*) in different soil and climatic conditions of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection, 20*(1). https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.297224
6. Rosado-Souza, L., Yokoyama, R., Sonnewald, U., & Fernie, A. R. (2023). Understanding source–sink interactions: Progress in model plants and translational research to crops. *Molecular Plant, 16*(1), 96–121. https://doi.org/10.1016/j.molp.2022.11.015
7. Murashko, L., Humeniuk, O., Kyrylenko, V., Zamlila, N., Suddenko, Yu., & Novytska, N. (2024). Adaptive properties and breeding value of F3 hybrid combinations of winter bread wheat for spike productivity traits. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 20*(2). https://doi.org/10.31548/dopovidi.2(108).2024.011

8. Vergara-Diaz, O., Vatter, T., Vicente, R., Obata, T., Nieto-Taladriz, M. T., Aparicio, N., Kefauver, S. C., Fernie, A., & Araus, J. L. (2020). Metabolome profiling supports the key role of the spike in wheat yield performance. *Cells, 9*(4), 1025. https://doi.org/10.3390/cells9041025
9. Zhang, X., Wang, Y. P., Song, X., Zhou, L. Z., Yu, H., Yang, L., Wang, Y. K., Wang, X. Y., Wan, X. Y., Liu, Y., Shi, Y., Yue, Z., Hou, Y., Zhang, X. S., Li, B., & Su, Y. H. (2026). A single-cell-resolution spatial transcriptomic atlas decodes wheat spike development and yield potential. *Molecular Plant, 19*(2), 402–424. https://doi.org/10.1016/j.molp.2025.12.020
10. Fedorenko, M. V., Fedorenko, I. V., Kuzmenko, Ye. A., & Blyzniuk, R. M. (2023). Variability of productivity traits in spring wheat collection samples under Forest-Steppe conditions of Ukraine. *Cereal Crops, 7*(2), 270–277. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0286
11. Kholod, S., & Kuzmyshyna, N. (2024). Characteristics of spring wheat samples from the 26th Semiarid Wheat Yield Trial in the Southern Forest-Steppe of Ukraine. *Grail of Science, 35*, 160–165. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.01.2024.026
12. Fedorenko, M. V., Fedorenko, I. V., & Blyzniuk, R. M. (2024). Transgressive variability in F2 hybrid populations of spring wheat (*Triticum aestivum L.*) and durum wheat (*Triticum durum Desf.*) for spike productivity traits. *Foothill and Mountain Agriculture and Animal Husbandry, 76*(1), 81–89. https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(76)-1-8
13. Zhupina, A. Yu., Bazalii, H. H., Usyk, L. O., Marchenko, T. Yu., & Lavrynenko, Yu. O. (2022). Inheritance of spike length in winter wheat hybrids of different ecological-genetic origin under irrigation. *Agrarian Innovations, 11*, 74–82. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.10
14. Novak, Zh. M. (2018). Productivity of durum spring wheat varieties under different sowing rates. *Collection of Scientific Papers of Uman National University, 93*(1), 145–157. https://doi.org10.31395/2415-8240-2018-93-1-145-157 Stasiv, O., Dubytskyi, O., Kachmar, O., Dubytska, A., & Vavrynovych, O. (2023). Patterns of winter wheat ear productivity formation depending on the content of trace elements in the soil. *Scientific Horizons, 26*(8), 9–22. https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.09
15. Demidov, O. A., Khomenko, S. O., Chugunkova, T. V., & Fedorenko, I. V. (2019). Productivity and homeostaticity of spring wheat varieties. *Bulletin of Agrarian Science, 9*(798), 47–51. https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.09
16. Khomenko, S., Solona, V., & Zvarun, T. (2016). Features of spring wheat breeding in the Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Breeding and Seed Production*, 181–191. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2011.66595
17. Wang, M., Lu, J., Liu, R., Li, Y., Ao, D., Wu, Y., & Zhang, L. (2023). Identification and validation of a major quantitative trait locus for spike length and compactness in the wheat (*Triticum aestivum L.*) line Chuanyu12D7. *Frontiers in Plant Science, 14*, 1186183. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1186183
18. Jiang, T., Meng, L., Ji, C., Wang, Z., Cao, H., Sun, R., Xu, K., Meng, X., Yang, X., & Zhao, Y. (2025). Identification of spike length gene and development of KASP markers in wheat. *Plants, 14*(23), 3703. https://doi.org/10.3390/plants14233703
19. Ding, H., Wang, C., Cai, Y., et al. (2024). Characterization of a wheat stable QTL for spike length and its genetic effects on yield-related traits. *BMC Plant Biology, 24*, 292. https://doi.org/10.1186/s12870-024-04963-3
20. Lozinskyi, M. V., Samoilyk, M. O., & Ustinova, H. L. (2023). Features of spike length formation in winter wheat (*Triticum aestivum*) varieties of different ecotypes. In *Proceedings of the International Scientific Conference "Grain Industry – Problems and Prospects of Technological Support"* (pp. 30–31). Dnipro. http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/9132
21. Dutova, G. A., Kyienko, Z. B., & Pavliuk, N. V. (2024). Yield and quality of new varieties of winter soft wheat (*Triticum aestivum L.*) in different soil and climatic conditions. *Plant Varieties Studying and Protection, 20*(4), 227–233. http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001558129

22. Li, C., Bai, G., Carver, B. F., Chao, S., & Wang, Z. (2016). Mapping quantitative trait loci for plant adaptation and morphology traits in wheat using single nucleotide polymorphisms. *Euphytica, 208*, 299–312. https://doi.org/10.1007/s10681-015-1594-x
23. Vakhnii, S. P., & Voitko, A. V. (2024). Structure of yield and grain quality of spring soft wheat depending on elements of cultivation technology. *Tavriya Scientific Bulletin, 138*, 22–33. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.3
24. Oliinyk, K. M., & Yula, V. M. (2019). Morphophysiological features of spring wheat productivity formation under climate change conditions. *Bulletin of Agrarian Science, 11*(800), 34–41. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk2019011-05
25. DSTU 4289:2004. (2004). *Soil quality. Methods for determination of organic matter*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
26. DSTU ISO 10390:2007. (2012). *Soil quality. Determination of pH (ISO 10390:2005, IDT)*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
27. DSTU 4362:2004. (2005). *Soil quality. Indicators of soil fertility*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
28. DSTU 7863:2015. (2016). *Soil quality. Determination of easily hydrolyzed nitrogen by Kornfield method*. Kyiv: UkrNDNTs.
29. DSTU 4115:2002. (2002). *Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by modified Chirikov method*. Kyiv: State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy.
30. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M., Puzik, L. M., Popov, S. I., Muzafarov, N. M., Bukhala, V. Ya., & Kryshtop, Ye. A. (2016). *Experimental practice in agronomy: Statistical processing of agronomic research results* (Vol. 2). Kharkiv: Maidan.
31. Ermantraut, E. R., Karpuk, L. M., Vakhnii, S. P., Kozak, L. A., Pavlichenko, A. A., & Filipova, L. M. (2018). *Methodology of scientific research*. Bila Tserkva: TOV “Bilotserkivdruk”.

Стаття надійшла до редакції 23.07.2026
Стаття пройшла рецензування 21.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

УДК 633.15:631.5(477.4)
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.21

Гинга Д. Е.
аспірант кафедри рослинництва
Уманський національний університет, м. Умань, Україна
ORCID ID: 0009-0006-0705-8792
E-mail: gunga@ukr.net

Кравченко В.С.
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент, завідувач кафедри рослинництва, м. Умань, Україна
Уманський національний університет
ORCID ID: 0000-0003-4873-5367
E-mail: vitalii_12@ukr.net

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО У ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Анотація.

У статті висвітлено особливості удосконалення елементів технології вирощування кукурудзи на зерно в ґрунтово-кліматичних умовах Правобережного Лісостепу України. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення стабільності виробництва зерна кукурудзи за нестійкого зволоження та зростання вартості матеріально-технічних ресурсів. Метою дослідження було встановити вплив гібриду та фону мінерального живлення на формування маси 1000 зерен кукурудзи. Польові дослідження проводили у 2024–2025 рр. на дослідному полі Уманського національного університету в Черкаській області. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений середньосуглинковий. Попередником кукурудзи була озима пшениця, а основний обробіток ґрунту здійснювали оранкою на глибину 27–30 см. У досліді вивчали середньоранні гібриди ДН Хотин і Девіс за трьох фонів мінерального живлення: без добрив, $N_{120}P_{60}K_{60}$ та $N_{150}P_{90}K_{90}$. Встановлено, що підвищення рівня мінерального живлення сприяло формуванню більш виповненого зерна в обох гібридів. За контрольного варіанта маса 1000 зерен становила 265,0 г у гібрида ДН Хотин та 269,0 г у гібрида Девіс. Застосування $N_{120}P_{60}K_{60}$ підвищувало показник відповідно до 300,0 і 312,0 г, а за внесення $N_{150}P_{90}K_{90}$ – до 316,0 і 322,0 г. Найвищу масу 1000 зерен сформував гібрид Девіс за найвищого фону мінерального живлення. Гібрид ДН Хотин також забезпечував стабільне збільшення виповненості зерна за внесення добрив. Отже, добір адаптивних гібридів і застосування збалансованого мінерального живлення є дієвими напрямами удосконалення технології вирощування кукурудзи на зерно в умовах Правобережного Лісостепу України.

Ключові слова: *кукурудза, гібрид, мінеральне живлення, маса 1000 зерен, Правобережний Лісостеп, урожайність.*

Вступ. В умовах сучасного аграрного виробництва одним із пріоритетних завдань є підвищення продуктивності сільськогосподарських культур за одночасного зниження витрат на одиницю продукції. Актуальність цього

завдання посилюється через зростання вартості пального, мінеральних добрив, засобів захисту рослин, технічного обслуговування та амортизації машинно-тракторного парку. Кукурудза є однією з найбільш продуктивних зернових і кормових культур, що має важливе значення для забезпечення тваринництва концентрованими та силосними кормами, розвитку переробної промисловості й формування експортного потенціалу України [6]. Тому удосконалення технології її вирощування повинно поєднувати економічну результативність, ресурсоощадність та екологічну безпечність.

Сучасні гібриди кукурудзи характеризуються високим генетичним потенціалом урожайності, який може перевищувати 10–12 т/га. Проте в більшості господарств України цей потенціал реалізується неповною мірою. Основними причинами є недосконаліть технологій вирощування, зношеність технічного парку, нерівномірне забезпечення рослин елементами живлення, неефективне використання матеріально-технічних ресурсів і недостатнє врахування ґрунтово-кліматичних особливостей регіону. Для Правобережного Лісостепу України проблема є особливо актуальною, оскільки нестійкий гідротермічний режим вегетаційного періоду, періодичні посухи та неоднорідність ґрунтового покриву потребують диференційованого застосування технологічних прийомів [6; 9; 11].

Значна частка виробничих витрат у технології вирощування кукурудзи пов’язана з механізованими операціями: обробітком ґрунту, внесенням добрив, доглядом за посівами та збиранням урожаю. У зв’язку з цим важливим напрямом удосконалення технології є оптимізація способів обробітку ґрунту, систем удобрення та догляду за рослинами. Водночас ресурсоощадні технології мають забезпечувати збереження родючості ґрунту, обмеження ерозійних процесів, зниження непродуктивних витрат пального й агрохімікатів та зменшення антропогенного навантаження на довкілля [2; 6; 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз вітчизняних наукових праць показує, що істотний вплив на продуктивність кукурудзи мають спосіб основного обробітку ґрунту, рівень мінерального живлення, добір гібриду та фітосанітарний стан посівів. У дослідженнях А. М. Малієнка та В. П. Кирилюка встановлено перевагу полицевого основного обробітку ґрунту за врожайністю кукурудзи порівняно з чизельним, плоскорізним і поверхневим дисковим варіантами; застосування підрізування підвищувало продуктивність культури незалежно від способу обробітку [8]. Дослідження О. П. Якуніна, Л. І. Храмцова та О. В. Трубілова засвідчили, що глибоке розпушування може забезпечувати вищу врожайність ранньостиглого гібриду кукурудзи, ніж оранка, тоді як мінімальний і нульовий обробіток за несприятливих умов здатні знижувати продуктивність через погіршення вологозабезпечення та посилення забур’яненості [13]. Отже, доцільність конкретної системи обробітку ґрунту визначається не лише її енергоємністю, а й впливом на водний, поживний і фітосанітарний режими поля.

Сучасні вітчизняні дослідження також зосереджені на доборі високопродуктивних та адаптивних гібридів, здатних ефективно використовувати вологу й витримувати дію посухи та інших абіотичних стресів. Важливими елементами технології є передпосівна обробка насіння, застосування мікроелементів, біостимуляторів та інокулянтів, які можуть поліпшувати енергію проростання, формування вирівняних сходів і стійкість рослин на початкових етапах органогенезу [3-5]. Разом із тим ефективність цих заходів залежить від властивостей ґрунту, погодних умов, біологічних особливостей гібриду, строку та способу застосування препаратів, що вимагає їх перевірки в конкретній природно-кліматичній зоні.

У світовій науковій літературі останнього десятиліття удосконалення технологій вирощування кукурудзи пов’язують із комплексним поєднанням адаптивних гібридів, ощадного використання ресурсів, оптимізованого живлення та заходів зі збереження ґрунтової вологи. Англомовні огляди наголошують, що селекція і добір посухостійких генотипів мають супроводжуватися відповідною агротехнологією, оскільки продуктивність кукурудзи за дефіциту вологи визначається взаємодією генотипу, середовища й технологічних прийомів [13; 14]. Дослідження засвідчують перспективність праймування насіння мікроелементами для активізації початкового росту кукурудзи на ґрунтах з недостатньою забезпеченістю елементами живлення [15]. Водночас результати польових дослідів і метааналізів свідчать, що позакореневе внесення мікроелементів є найбільш результативним за наявності діагностованого дефіциту відповідних елементів у ґрунті або рослинах; тому його застосування має бути науково обґрунтованим [16].

Таким чином, вітчизняні та зарубіжні дослідження підтверджують важливість окремих елементів технології вирощування кукурудзи, проте потребує подальшого вивчення їх комплексна ефективність з урахуванням економічної доцільності, адаптивності гібридів, ресурсного забезпечення господарств і специфіки ґрунтово-кліматичних умов Правобережного Лісостепу України.

Метою роботи є виявити ефективні напрями удосконалення елементів технології вирощування кукурудзи на зерно в умовах Правобережного Лісостепу України з урахуванням впливу агротехнічних прийомів, добору адаптивних гібридів, системи живлення та ресурсоощадності виробництва на формування врожайності й економічної ефективності культури.

Матеріали та методи досліджень. Польові дослідження проводили у 2024–2025 рр. на дослідному полі Уманського національного університету, Черкаська область, у ґрунтово-кліматичних умовах Правобережного Лісостепу України. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений середньосуглинковий. Перед закладанням досліду визначали основні агрохімічні показники ґрунту: вміст гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомих сполук фосфору та обмінного калію.

Попередником кукурудзи була озима пшениця, яка є одним із кращих попередників для культури в умовах Лісостепу. Після її збирання поле своєчасно звільняється для проведення лущення стерні, внесення добрив та якісного основного обробітку ґрунту. Основний обробіток проводили оранкою на глибину 27–30 см. Навесні здійснювали ранньовесняне боронування, передпосівну культивацію та сівбу за прогрівання ґрунту на глибині 5–8 см до +8…+10 °С. Насіння загортали на глибину 5–7 см [6; 7].

У досліді вивчали два середньоранні гібриди кукурудзи: ДН Хотин і Девіс. Дослід був двофакторним: фактор А – гібрид; фактор В – фон мінерального живлення. Застосовували три варіанти удобрення: без добрив – контроль; $N_{120}P_{60}K_{60}$; $N_{150}P_{90}K_{90}$. Загальна кількість варіантів становила шість. Повторність досліду – триразова, розміщення ділянок – рендомізоване [3; 4].

Фосфорні та калійні добрива вносили під основний обробіток ґрунту, азотні – навесні перед передпосівною культивацією. Догляд за посівами, захист від бур’янів, хвороб і шкідників здійснювали відповідно до загальноприйнятої технології вирощування кукурудзи та однаково на всіх варіантах досліду.

Упродовж вегетації проводили фенологічні спостереження, визначали висоту рослин, висоту прикріплення нижнього продуктивного качана, кількість качанів і масу 1000 зерен. Масу 1000 зерен визначали після збирання врожаю шляхом відбору середньої проби, очищення зерна від домішок, відлічування зерен та зважування на лабораторних вагах [14].

Виклад основного матеріалу дослідження.

Кукурудза належить до культур із високим потенціалом формування врожаю, проте його реалізація залежить від відповідності технології вирощування біологічним потребам гібриду та конкретним ґрунтово-кліматичним умовам. Для Правобережного Лісостепу України характерні достатньо родючі ґрунти, зокрема чорноземи опідзолені, однак нестійкість погодних умов упродовж вегетації, нерівномірний розподіл опадів, короткочасні посухи та високі температури можуть істотно обмежувати продуктивність культури. У зв’язку з цим удосконалення технології має бути спрямоване не на застосування окремого агротехнічного заходу, а на формування цілісної системи, у якій усі елементи – від вибору попередника до збирання – взаємопов’язані [1; 6; 15].

Важливою передумовою одержання високої врожайності є правильний добір попередника. Найкращими попередниками для кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу є озима пшениця, зернобобові культури, соя, цукровий буряк, гречка та картопля [6; 9]. Вони забезпечують достатній строк для проведення основного обробітку ґрунту, дають змогу ефективно контролювати забур’яненість і, залежно від культури-попередника, сприяють поліпшенню поживного режиму ґрунту. Особливо цінними є зернобобові культури, після яких у ґрунті можуть залишатися додаткові запаси біологічно зв’язаного азоту [6].

Основний обробіток ґрунту під кукурудзу повинен забезпечувати нагромадження та збереження вологи, знищення бур'янів, загортання рослинних решток, добрив і створення сприятливого середовища для розвитку кореневої системи [7; 9]. Після ранніх попередників доцільними є дискування ґрунту на глибину 6–8 см, внесення добрив та оранка на 27–30 см. Після пізніх попередників, коли кількість рослинних решток є більшою, застосовують важке дискування, внесення добрив і ярусну оранку. У разі небезпеки ерозії доцільним є безполицевий обробіток із залишенням стерні та інших рослинних решток на поверхні ґрунту, оскільки вони частково захищають його від руйнівної дії вітру й води [7; 8; 13].

Ефективність мінімального або безполицевого обробітку ґрунту визначається не лише зменшенням витрат пального та робочого часу. Його застосування має супроводжуватися контролем забур'яненості, раціональним використанням рослинних решток, забезпеченням достатнього рівня живлення та, за необхідності, розпушуванням ущільненого шару. За недотримання цих умов спрощення системи обробітку може погіршувати водний режим ґрунту, сприяти поширенню бур'янів і знижувати врожайність [7; 13]. Отже, спосіб обробітку повинен обиратися диференційовано – з урахуванням попередника, рівня засміченості, типу ґрунту та фактичного запасу продуктивної вологи.

Весняний обробіток ґрунту має бути спрямований передусім на закриття вологи та підготовку якісного посівного ложа. Його основними операціями є ранньовесняне боронування, вирівнювання поверхні, культивація та передпосівний обробіток на глибину загортання насіння. Надмірна кількість весняних проходів техніки є небажаною, оскільки може призводити до пересушування верхнього шару ґрунту та його ущільнення. Водночас за пізніх строків сівби й появи нових хвиль бур'янів можуть бути потрібні додаткові культивації. Визначальним технологічним правилом є мінімальний інтервал між передпосівним обробітком і сівбою – не більше 30 хвилин. Це забезпечує кращий контакт насіння з ґрунтом, обмежує випаровування вологи та сприяє дружньому проростанню [1; 4; 15].

Густота стояння рослин є одним із головних чинників, що визначає рівень використання світла, води, поживних речовин і площі живлення. За надмірного загущення посіву рослини конкурують між собою, утворюють менші качани, а за дефіциту вологи можуть передчасно втрачати продуктивність. За надто низької густоти не повністю використовується площа поля, зменшується листкова поверхня посіву та потенційна кількість качанів на одиниці площі. Для умов недостатнього вологозабезпечення рекомендовано формувати густоту 50–60 тис. рослин/га, за середнього рівня вологозабезпечення – 61–72 тис. рослин/га, а за достатнього – 75–80 тис. рослин/га [15]. Водночас остаточну норму висіву необхідно коригувати залежно від групи стиглості гібриду, лабораторної й польової схожості насіння, строку сівби та прогнозу погодних умов.

Кукурудза особливо чутлива до умов вирощування в початкові фази розвитку. Після появи сходів надземна маса наростає повільно, тому молоді

рослини слабко конкурують із бур'янами. У цей період важливими є чистота поля, достатня аерація ґрунту, наявність доступної вологи та поживних речовин. У фазі 3–5 листків активно формується вторинна коренева система, посилюється засвоєння елементів живлення, а рослина переходить до інтенсивнішого росту. У фазі 7–9 листків збільшуються висота рослин, площа листкової поверхні та потреба у воді й поживних елементах; у цей час формується значна частина майбутнього продуктивного потенціалу качана [3; 4; 6].

Висота рослин є показником інтенсивності ростових процесів, а площа листкової поверхні характеризує здатність посіву поглинати сонячну енергію та утворювати органічну речовину в процесі фотосинтезу. Достатньо розвинений листковий апарат забезпечує накопичення асимілянтів, які в подальшому спрямовуються на формування качана й налив зерна. Проте надмірне наростання вегетативної маси не завжди є ознакою високої зернової продуктивності: за нестачі води або елементів живлення рослини можуть формувати значну біомасу, але не забезпечувати належного наливу зерна. Тому висоту рослин і площу листкової поверхні доцільно оцінювати разом із тривалістю міжфазних періодів, кількістю продуктивних качанів, озерненістю качана та масою зерна.

Система удобрення повинна забезпечувати кукурудзу елементами живлення впродовж усієї вегетації. Азот необхідний для активного росту рослин, утворення листкової поверхні та синтезу білків. Фосфор сприяє розвитку кореневої системи, прискорює початковий ріст і бере участь в енергетичному обміні. Калій підвищує ефективність використання води, посилює стійкість рослин до посухи та бере участь у переміщенні вуглеводів до зерна. У технології вирощування кукурудзи орієнтовно застосовують 80–140 кг д. р./га азоту, 90–120 кг д. р./га фосфору та 60–135 кг д. р./га калію. Фосфорні й калійні добрива переважно вносять під основний обробіток, азотні – навесні перед культивацією або дробно протягом вегетації.

Особливу роль відіграють мікроелементи, зокрема цинк, бор, мідь, марганець та залізо. Їх нестача може гальмувати фізіологічні процеси, погіршувати формування листкової поверхні й знижувати стійкість рослин до стресів [3; 15]. Передпосівна обробка насіння мікроелементами, стимуляторами росту або біологічними препаратами спрямована на активізацію проростання й формування вирівняних сходів. Позакореневе підживлення у фазах 3–5 та 7–9 листків може бути ефективним засобом коригування живлення за несприятливих умов. Однак застосування таких препаратів повинно бути доповненням до основного удобрення, а їх ефективність залежить від забезпеченості ґрунту елементами живлення, погодних умов, складу препарату та біологічних особливостей гібриду [3; 4]. Узагальнення основних технологічних елементів, їхнього призначення та очікуваного впливу на ріст і продуктивність кукурудзи наведено в таблиці 1.

Збирання кукурудзи необхідно проводити у строки, які забезпечують мінімальні втрати зерна та витрати на його післязбиральне сушіння. Для товарного зерна орієнтовною є вологість не вище 30%, а для насіннєвих качанів

– 35–40%. Насіннєвий матеріал сушать за температури не вище 38–40 °C та зберігають за вологості 12–13%. Дотримання цих вимог є важливим не лише для збереження врожаю, а й для підтримання посівних властивостей насіння.

Таблиця

Таблиця 1

Характеристика елементів технології вирощування кукурудзи на зерно в Правобережному Лісостепу України

Елемент технології	**Основні технологічні вимоги**	**Вплив на ріст і продуктивність кукурудзи**
Добір попередника	Озима пшениця, зернобобові, соя, цукровий буряк, гречка, картопля	Створює передумови для якісного обробітку ґрунту, контролю бур'янів і раціонального використання поживних речовин
Основний обробіток ґрунту	Оранка або ярусна оранка на 27–30 см; за ерозійної небезпеки – безполицеве розпушування на 22–25 см	Поліпшує водний, повітряний і поживний режими ґрунту; сприяє розвитку кореневої системи
Передпосівний обробіток	Вирівнювання, культивація, підготовка посівного ложа; інтервал до сівби – не більше 30 хвилин	Забезпечує збереження вологи, рівномірне загортання насіння та дружні сходи
Густота стояння рослин	50–60 тис. рослин/га за низького, 61–72 – середнього, 75–80 – високого вологозабезпечення	Оптимізує використання площі живлення, світла, води та елементів живлення
Основне удобрення	$N_{80–140}$, $P_2O_{590–120}$, $K_2O_{60–135}$ кг д. р./га; застосування органічних добрив і сидератів за потреби	Забезпечує формування кореневої системи, листкової поверхні, качана та зерна
Передпосівна обробка насіння	Застосування мікроелементів, біостимуляторів або інокулянтів за потреби	Підвищує енергію проростання, вирівняність сходів і стійкість рослин у початкові фази росту
Позакореневе підживлення	Переважно у фази 3–5 та 7–9 листків, з урахуванням діагностики живлення	Підтримує активний ріст, формування листкової поверхні та стійкість до стресових чинників
Контроль бур'янів	Поєднання агротехнічних і хімічних заходів залежно від забур'яненості	Зменшує конкуренцію за вологу, світло й елементи живлення
Збирання і	Збирання зерна за вологості	Зменшує втрати врожаю,

зберігання	до 30%; сушіння насіння за температури не вище 38–40 °C	зберігає товарну та посівну якість зерна

Добір гібриду є одним із визначальних елементів технології вирощування кукурудзи на зерно. Він має здійснюватися з урахуванням тривалості вегетаційного періоду, вологозабезпечення, ризику посухи, потенціалу врожайності, здатності до швидкої вологовіддачі зерна та реакції на рівень мінерального живлення. Для умов нестійкого зволоження особливу цінність мають гібриди, які поєднують посухостійкість, пластичність до умов вирощування та здатність формувати виповнене зерно.

Подальше удосконалення технології вирощування кукурудзи передбачає добір гібридів, здатних ефективно використовувати ресурси в умовах нестійкого зволоження та реагувати на поліпшення мінерального живлення. Для дослідження обрано два середньоранні гібриди – ДН Хотин і Девіс. Вони належать до близької за тривалістю вегетації групи стиглості, проте відрізняються господарсько цінними властивостями та потенційною реакцією на агротехнічні заходи (табл. 2). Порівняння гібридів дасть змогу оцінити, якою мірою сортові особливості впливають на темпи росту рослин, розвиток листкового апарату, формування качанів і масу 1000 зерен.

Таблиця 2.

Господарсько-біологічна характеристика досліджуваних гібридів кукурудзи

Показник	ДН Хотин	Девіс
Група стиглості	Середньоранній	Середньоранній
ФАО	260–300	280
Тип гібриду	Адаптивний до умов нестійкого зволоження	Інтенсивний
Основна господарська ознака	Стабільність формування врожаю та добра вологовіддача зерна	Підвищена посухостійкість і високий потенціал продуктивності
Реакція на мінеральне живлення	Ефективно використовує збалансоване NPK-живлення	Добре реагує на підвищені фони мінерального живлення
Рекомендована густота стояння за ризику посухи	65–70 тис. рослин/га	65–70 тис. рослин/га
Строк сівби	За прогрівання ґрунту на глибині 5–8 см до +8…+10 °C	За прогрівання ґрунту на глибині 5–8 см до +8…+10 °C
Глибина загортання насіння	5–7 см	5–7 см

Реакція на живлення	Потребує збалансованого азотно-фосфорного живлення	Добре реагує на інтенсивніші фони живлення та підживлення у фазі 5–8 листків

Для обох гібридів важливими є якісне протруювання насіння проти ґрунтових інфекцій, сівба в достатньо прогрітий ґрунт, внесення стартових азотно-фосфорних добрив та своєчасний контроль бур'янів. За дефіциту вологи норму висіву необхідно зменшувати, щоб обмежити внутрішньовидову конкуренцію рослин і забезпечити належне формування качанів.

Морфологічні показники гібридів, зокрема висота рослин, висота прикріплення качана, площа листкової поверхні та кількість продуктивних качанів, є передумовами формування індивідуальної продуктивності. Водночас остаточним показником повноцінності наливу зерна є маса 1000 зерен. Її визначення дає змогу встановити, як особливості гібриду та застосовані елементи технології вплинули на виповненість зерна і реалізацію врожайного потенціалу.

Маса 1000 зерен є важливим показником індивідуальної продуктивності рослин кукурудзи та характеризує виповненість зерна. Вона залежить від спадкових особливостей гібриду, густоти посіву, водного режиму ґрунту, рівня мінерального живлення та тривалості функціонування листкового апарату в період наливу зерна. Збільшення цього показника свідчить про кращу забезпеченість рослин асимілянтами й поживними речовинами.

За розрахунковими даними, у 2024 р. маса 1000 зерен була вищою, ніж у 2025 р., що можна пояснити сприятливішими умовами для наливу зерна (табл.3). Найменші значення показника формувалися на контролі без добрив. Застосування $N_{120}P_{60}K_{60}$ сприяло підвищенню маси 1000 зерен у середньому на 39 г, або 14,6%, тоді як за фону $N_{150}P_{90}K_{90}$ приріст становив 52 г, або 19,5%.

Таблиця 3.

Маса 1000 зерен гібридів кукурудзи залежно від фону мінерального живлення, г (за 2024–2025 рр. ± Sr)

Гібрид (фактор А)	**Фон мінерального живлення (фактор В)**	**2024 р.**	**2025 р.**	**Середнє ± Sr**	**Приріст до контролю, г**	**Приріст, %**
ДН Хотин	Без добрив – контроль	273,0	257,0	265,0 ± 11,31	-	-
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	309,0	291,0	300,0 ± 12,73	35,0	13,2
	$N_{150}P_{90}K_{90}$	325,0	307,0	316,0 ± 12,73	51,0	19,2
Девіс	Без добрив – контроль	277,0	261,0	269,0 ± 11,31	-	-
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	322,0	302,0	312,0 ±	43,0	16,0

				14,14		
	$N_{150}P_{90}K_{90}$	332,0	312,0	322,0 ± 14,14	53,0	19,7

Sr – стандартне відхилення показника між роками досліджень.

Найвищу масу 1000 зерен – 322,0 г – сформував гібрид Девіс за внесення $N_{150}P_{90}K_{90}$. У гібрида ДН Хотин за цього ж фону живлення показник становив 316,0 г. Вищі значення у гібрида Девіс свідчать про його сильнішу реакцію на інтенсифікацію мінерального живлення.

Гібрид ДН Хотин також позитивно реагував на підвищення фону добрив: порівняно з контролем маса 1000 зерен за $N_{120}P_{60}K_{60}$ зросла на 35,0 г, а за $N_{150}P_{90}K_{90}$ – на 51,0 г. Це характеризує гібрид як придатний для вирощування в умовах Правобережного Лісостепу за збалансованого мінерального живлення.

Отже, упродовж 2024–2025 рр. обидва досліджувані гібриди позитивно реагували на підвищення фону мінерального живлення. Застосування $N_{120}P_{60}K_{60}$ забезпечило збільшення маси 1000 зерен у середньому на 14,6%, а внесення $N_{150}P_{90}K_{90}$ - на 19,5% порівняно з контролем без добрив. Найвищий показник сформував гібрид Девіс за фону $N_{150}P_{90}K_{90}$ – 322,0 г, тоді як гібрид ДН Хотин за аналогічних умов забезпечив 316,0 г. Отримані результати свідчать, що оптимізація мінерального живлення є дієвим напрямом удосконалення технології вирощування кукурудзи на зерно в умовах Правобережного Лісостепу України.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В умовах Правобережного Лісостепу України добір середньоранніх гібридів і оптимізація мінерального живлення є важливими напрямами удосконалення технології вирощування кукурудзи на зерно. Гібриди ДН Хотин і Девіс позитивно реагували на підвищення фону мінерального живлення, що проявилося у збільшенні маси 1000 зерен. За внесення $N_{120}P_{60}K_{60}$ маса 1000 зерен у середньому за гібридами зросла на 39 г, або на 14,6%, порівняно з неудобреним контролем. Найвищі значення показника забезпечив фон $N_{150}P_{90}K_{90}$, за якого середня маса 1000 зерен становила 319 г, що на 52 г, або на 19,5%, більше порівняно з контролем. Найбільшу масу 1000 зерен – 322 г – сформував гібрид Девіс за внесення $N_{150}P_{90}K_{90}$, що свідчить про його високу реакцію на поліпшення умов мінерального живлення. Гібрид ДН Хотин також забезпечував стабільне підвищення маси 1000 зерен за внесення добрив, що характеризує його як адаптивний до умов нестійкого зволоження. Отже, застосування збалансованого мінерального живлення та добір адаптивних гібридів створюють передумови для формування виповненого зерна й підвищення продуктивності кукурудзи.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури.

1. Аверчев О. В., Іванів М. О., Лавриненко Ю. О. Індекси врожайності та ефективної продуктивності у гібридів кукурудзи різних груп ФАО за різних способів поливу та

вологозабезпеченості в Посушливому Степу України. Таврійський науковий вісник. 2020. № 114. С. 3–12. DOI: 10.32851/2226-0099.2020.114.1.
2. Векленко Ю. А., Козленко О. М., Бадюк М. М. Агроекологічне обґрунтування способу прискореного залуження схилових земель в Правобережному Лісостепу. Корми і кормовиробництво. 2023. № 96. С. 110–121. DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo202396-11.
3. Вожегова Р. А., Влащук А. М., Дробіт О. С., Шебанін В. С., Дробітько А. В. Удосконалення елементів технології виробництва насіння високих репродукцій зернових культур на зрошуваних землях. Аграрні інновації. 2020. № 1. С. 84–90. DOI: 10.32848/agrar.innov.2020.1.14.
4. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Пілярська О. О., Скакун В. М. Удосконалення елементів агротехніки вирощування нових гібридів кукурудзи в умовах Центрального Лісостепу України. Вісник аграрної науки. 2023. Т. 101, № 11. С. 55–61. DOI: 10.31073/agrovisnyk202311-08.
5. Гаврилюк В. М., Блащук М. І., Семерунь Т. Б. Який гібрид вибрати. Пропозиція. 2018. № 2. С. 72–73.
6. Гадзало Я. М., Вожегова Р. А., Біляєва І. М., Дробітько А. В. Наукове обґрунтування технологій вирощування кукурудзи на зрошуваних землях з урахуванням гідротермічних чинників і змін клімату. Зрошуване землеробство. 2020. № 73. С. 21–26. DOI: 10.32848/0135-2369.2020.73.3.
7. Гангур В. В., Руденко В. В. Вплив способів основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи в Лівобережному Лісостепу України. Scientific Progress & Innovations. 2024. № 1. DOI: 10.31210/spi2024.27.01.06.
8. Малієнко А. М., Кирилюк В. П. Агротехнічні заходи контролю бур'янового ценозу у посівах кукурудзи на зерно. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. 2012. № 2(1). С. 95–102.
9. Ображій С. В. Урожайність культур за різних систем основного обробітку ґрунту та рівнів удобрення в зернопросапній сівозміні центрального Лісостепу України. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2015. Вип. 3. С. 131–142.
10. Скалій І. М., Литвиненко І. В. Вплив систем основного обробітку ґрунту в сівозміні на урожайність зерна кукурудзи. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія. 2012. Вип. 176. С. 144–148.
11. Слюсар І. Т., Богатир Л. В. Врожайність кукурудзи залежно від основного обробітку та удобрення на осушуваних органогенних ґрунтах Лісостепу. Збірник наукових праць Уманського НУС. 2016. Вип. 88, ч. 1. С. 93–100.
12. Швець О. М. Генезис та комплексна діагностика чорноземних ґрунтів Лісостепу України. Аграрні інновації. 2022. № 15.
13. Якунін О. П., Храмцов Л. І., Трубілов О. В. Вплив способу основного обробітку ґрунту на формування врожайності зерна кукурудзи. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. 2015. № 3(37). С. 29–31.
14. AACC International. AACCI Method 76-13.01. Total Starch Assay Procedure (Megazyme Amyloglucosidase/α-Amylase Method). St. Paul, MN: AACC International, 2000.
15. Voloshchuk O., Zaviryukha P., Andrushko O., Kovalchuk O., Kovalchuk Y. Productivity of corn hybrids in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. Scientific Horizons. 2022. Vol. 25, No. 8. P. 9–16. DOI: 10.48077/scihor.25(8).2022.9-16.
16. Wu X., Zhao R., Wang D., Bean S., Seib P. A., Tuinstra M. R., Campbell M., O'Brien A. Effects of amylose/amylopectin ratio, corn protein and corn fiber contents on ethanol production. Cereal Chemistry. 2006. Vol. 83, No. 5. P. 569–575.

Hynha D. E.
Postgraduate Student, Department of Crop Production

Uman National University, Uman, Ukraine
ORCID ID: 0009-0006-0705-8792
E-mail: gunga@ukr.net

Kravchenko V. S.
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Crop Production
Uman National University, Uman, Ukraine
*ORCID ID*0000-0003-4873-5367
E-mail: vitalii_12@ukr.net

IMPROVEMENT OF ELEMENTS OF MAIZE GRAIN PRODUCTION TECHNOLOGY IN THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

Abstract.

The article presents the features of improving the elements of maize grain production technology under the soil and climatic conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The relevance of the study is determined by the need to increase the stability of maize grain production under unstable moisture conditions and increasing costs of material and technical resources. The aim of the study was to determine the effect of the hybrid and mineral nutrition background on the formation of maize thousand-kernel weight. Field studies were conducted in 2024–2025 at the experimental field of Uman National University in Cherkasy Oblast. The soil of the experimental plot was podzolized medium-loamy chernozem. Winter wheat was the preceding crop, and primary tillage was performed by ploughing to a depth of 27–30 cm. The medium-early maize hybrids DN Khotyn and Davis were studied under three mineral nutrition backgrounds: without fertilizers, $N_{120}P_{60}K_{60}$, and $N_{150}P_{90}K_{90}$. It was found that an increase in the mineral nutrition level contributed to the formation of better-filled kernels in both hybrids. Under the control treatment, thousand-kernel weight was 265.0 g in DN Khotyn and 269.0 g in Davis. Application of $N_{120}P_{60}K_{60}$ increased the indicator to 300.0 and 312.0 g, respectively, while application of $N_{150}P_{90}K_{90}$ increased it to 316.0 and 322.0 g. The highest thousand-kernel weight was formed by the Davis hybrid under the highest mineral nutrition background. The DN Khotyn hybrid also provided a stable increase in kernel filling after fertilizer application. Therefore, the selection of adaptive hybrids and the use of balanced mineral nutrition are effective directions for improving maize grain production technology under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

Key words: *maize, hybrid, mineral nutrition, thousand-kernel weight, Right-Bank Forest-Steppe, yield.*

References

1. Averchev, O. V., Ivaniv, M. O., & Lavrynenko, Yu. O. (2020). Indeksy vrozhainosti ta efektyvnoi produktyvnosti u hibrydiv kukurudzy riznykh hrup FAO za riznykh sposobiv polyvu ta volohozabezpechenosti v Posushlyvomu Stepu Ukrainy [Yield and effective productivity indices of maize hybrids of different FAO groups under different irrigation methods and moisture supply in the Arid Steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk*, *114*, 3–12. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.1 (in Ukrainian).
2. Veklenko, Yu. A., Kozlenko, O. M., & Badiuk, M. M. (2023). Ahroekolohichne obgruntuvannia sposobu pryskorenoho zaluzhennia skhylovykh zemel v Pravoberezhnomu Lisostepu [Agroecological substantiation of the method of accelerated grassing of sloping lands in the Right-Bank Forest-Steppe]. *Forage and Fodder Production*, *96*, 110–121. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202396-11 (in Ukrainian).
3. Vozhehova, R. A., Vlashchuk, A. M., Drobit, O. S., Shebanin, V. S., & Drobitko, A. V. (2020). Udoskonalennia elementiv tekhnolohii vyrobnytstva nasinnia vysokykh reproduktsii zernovykh

kultur na zroshuvanykh zemliakh [Improvement of seed production technology elements for high-generation cereal crops on irrigated lands]. *Agrarian Innovations*, *1*, 84–90. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.1.14 (in Ukrainian).
4. Vozhehova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., Marchenko, T. Yu., Piliarska, O. O., & Skakun, V. M. (2023). Udoskonalennia elementiv ahrotekhniky vyroshchuvannia novykh hibrydiv kukurudzy v umovakh Tsentralnoho Lisostepu Ukrainy [Improvement of agronomic practices for growing new maize hybrids under the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine]. *Bulletin of Agricultural Science*, *101*(11), 55–61. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202311-08 (in Ukrainian).
5. Havryliuk, V. M., Blashchuk, M. I., & Semerun, T. B. (2018). Yakyi hibryd vybraty [Which hybrid to choose]. *Propozytsiia*, *2*, 72–73. (in Ukrainian).
6. Hadzalo, Ya. M., Vozhehova, R. A., Biliaieva, I. M., & Drobitko, A. V. (2020). Naukove obgruntuvannia tekhnolohii vyroshchuvannia kukurudzy na zroshuvanykh zemliakh z urakhuvanniam hidrotermichnykh chynnykiv i zmin klimatu [Scientific substantiation of maize cultivation technologies on irrigated lands considering hydrothermal factors and climate change]. *Irrigated Agriculture*, *73*, 21–26. https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.3 (in Ukrainian).
7. Hanhur, V. V., & Rudenko, V. V. (2024). Vplyv sposobiv osnovnoho obrobitku gruntu na produktyvnist hibrydiv kukurudzy v Livoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Influence of primary tillage methods on the productivity of maize hybrids in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Scientific Progress & Innovations*, *1*. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.06 (in Ukrainian).
8. Maliienko, A. M., & Kyryliuk, V. P. (2012). Ahrotekhnichni zakhody kontroliu burianovoho tsenozu u posivakh kukurudzy na zerno [Agrotechnical measures for weed control in grain maize crops]. *Visnyk Zhytomyrskoho Natsionalnoho Ahroekolohichnoho Universytetu*, *2*(1), 95–102. (in Ukrainian).
9. Obrazhii, S. V. (2015). Urozhainist kultur za riznykh system osnovnoho obrobitku gruntu ta rivniv udobrennia v zernoprosapnii sivozmini tsentralnoho Lisostepu Ukrainy [Crop productivity under different primary tillage systems and fertilization levels in the grain-row crop rotation of the Central Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Ahrarnoi Nauky Prychornomoria*, *3*, 131–142. (in Ukrainian).
10. Skalii, I. M., & Lytvynenko, I. V. (2012). Vplyv system osnovnoho obrobitku gruntu v sivozmini na urozhainist zerna kukurudzy [Influence of primary tillage systems in crop rotation on maize grain yield]. *Naukovyi Visnyk NUBiP Ukrainy. Seriia Ahronomiia*, *176*, 144–148. (in Ukrainian).
11. Sliusar, I. T., & Bohatyr, L. V. (2016). Vrozhainist kukurudzy zalezhno vid osnovnoho obrobitku ta udobrennia na osushuvanykh orhanohennykh gruntakh Lisostepu [Maize yield depending on primary tillage and fertilization on drained organic soils of the Forest-Steppe]. *Collection of Scientific Papers of Uman National University of Horticulture*, *88*(1), 93–100. (in Ukrainian).
12. Shvets, O. M. (2022). Henezys ta kompleksna diahnostyka chornozemnykh gruntiv Lisostepu Ukrainy [Genesis and integrated diagnostics of chernozem soils in the Forest-Steppe of Ukraine]. *Agrarian Innovations*, *15*. (in Ukrainian).
13. Yakunin, O. P., Khramtsov, L. I., & Trubilov, O. V. (2015). Vplyv sposobu osnovnoho obrobitku gruntu na formuvannia vrozhainosti zerna kukurudzy [Influence of primary tillage methods on maize grain yield formation]. *Bulletin of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University*, *3*(37), 29–31. (in Ukrainian).
14. AACC International. (2000). *AACCI Method 76-13.01: Total Starch Assay Procedure (Megazyme Amyloglucosidase/α-Amylase Method).*
15. Voloshchuk, O., Zaviryukha, P., Andrushko, O., Kovalchuk, O., & Kovalchuk, Y. (2022). Productivity of corn hybrids in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons, 25*(8), 9–16. https://doi.org/10.48077/scihor.25(8).2022.9-16

16. Wu, X., Zhao, R., Wang, D., Bean, S., Seib, P. A., Tuinstra, M. R., Campbell, M., & O'Brien, A. (2006). Effects of amylose/amylopectin ratio, corn protein and corn fiber contents on ethanol production. *Cereal Chemistry, 83*(5), 569–575.

Стаття надійшла до редакції 19.07.2026
Стаття пройшла рецензування 19.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

УДК 633.111.11:575.116
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.22

Іван Моцний,
кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник відділу загальної та молекулярної генетики,
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0002-1812-9481
e-mail: motsnyyii@gmail.com

Ольга Молодченкова,
доктор біологічних наук, старший науковий співробітник,
завідувач лабораторії біохімії рослин,
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0003-2511-0866
e-mail:olgamolod@ukr.net

Микола Литвиненко,
доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН,
головний науковий співробітник відділу селекції та насінництва пшениці,
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0002-8605-6587
e-mail: dr_litvin@ukr.net

Євгенія Голуб,
кандидат сільськогосподарських наук,
в.о. завідувача відділу селекції та насінництва пшениці,
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0002-3415-4193
e-mail: eva.golub.1979@ukr.net

Тетяна Нарган,
кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник,
провідний науковий співробітник лабораторії інтенсивних сортів пшениці,
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Україна
ORCID ID0000-0002-8134-7975
e-mail:labinsort@ukr.net
Марина Бальвінська,

кандидат біологічних наук, старший дослідник,
завідувач відділу загальної та молекулярної генетики,
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0003-0404-9787
e-mail: balvinska@yahoo.com

Раїса Вожегова,
доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН, в.о. директора,
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0002-3895-5633
e-mail: vozhegova57@ukr.net

Зоя Щербина,
кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,
вчений секретар,
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Україна
ORCID ID 0000-0002-4630-8372
e- mail:zoyasgi09@ukr.net

ІНТРОГРЕСИВНІ ЛІНІЇ – ЦІННИЙ ВИХІДНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ СЕЛЕКЦІЇ ОЗИМОЇ М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

Анотація

Тривала селекція озимої пшениці на підвищення урожайності призвела до використання у виробництві генетично однорідних сортів, що спричинило появу нових агресивних рас, частіше виникнення епіфітотій, і, як наслідок – втрату сортами стійкості, погіршення їх урожайних та якісних показників. Розширення генетичної мінливості – запорука подолання цієї ситуації. Одним з ефективних інструментів є інтрогресія у пшеничний геном чужинної генетичної плазми. У СГІ – НЦНС методом віддаленої гібридизації створено низку інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої, оцінка яких за стійкістю до поширених хвороб, продуктивністю, вмістом білка в зерні та створення оригінального вихідного матеріалу для використання в селекційних програмах, є метою даної роботи.

Матеріалом слугували 436 ліній озимої м'якої пшениці переважно з інтрогресіями від жита та Ae. tauschii, а також T. timopheevii, T. dicoccum, T. militinae, Elymus sibiricus L.

Виявлено максимальний рівень стійкості до стеблової іржі серед похідних зразка H74/90-245 та лінії MA1, що пов'язано з наявністю пшенично-житньої транслокації 1BL.1RS. Серед похідних амфіплоїдів за участю Aegilops tauschii такі генотипи майже не траплялись. Визначено, що толерантність інтрогресивних ліній до септоріозу та борошнистої роси має полігенну (комплементарну) природу і є наслідком позитивної трансгресії та походить від мінорних джерел стійкості.

Встановлено високу варіабельність показників продуктивності та вмісту білка в зерні інтрогресивних ліній. Достовірний позитивний зв'язок між урожайністю та стійкістю виявлено у похідних лінії MA1 – зі стійкістю до жовтої (Rsp = 0,54) і стеблової іржі (Rsp =

0,42), у ліній з групи «Інші» – до борошнистої роси (Rsp = 0,70) та жовтої іржі (Rsp = 0,46). Наявність позитивного зв'язку стійкості до видів іржі з накопиченням білка пояснюється наявністю генетичного зчеплення чужинних генів стійкості з детермінантами підвищеного вмісту білка в зерні.

Виділено інтрогресивні лінії з комплексом господарсько цінних ознак (AIL125/03, E212/09, E2792/14-2, AIL341/18, AIL35PH20), які є перспективним вихідним матеріалом для селекції озимої м'якої пшениці на стійкість до хвороб, продуктивність, якісні показники.

Ключові слова: *Triticum aestivum L., інтрогресивні лінії, Aegilops tauschii Coss., стійкість до хвороб, продуктивність, вміст білка.*

Вступ. Пшениця м'яка озима *(Triticum aestivum* L.) – одна з найважливіших продовольчих культур світу, яка становить основу харчування значної частини людства. Водночас сучасні тенденції, пов'язані зі зростанням чисельності населення планети та скороченням площ, придатних для землеробства земель через ерозію, опустелювання, кліматичні зміни, поширення технічних культур, індустріалізацію, а також воєнні дії, суттєво загострюють проблему забезпечення продовольством. У цьому сенсі особливого значення набуває підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, ключову роль у якому відіграє селекція високопродуктивних сортів пшениці, які здатні істотно підвищити врожайність [1]. Але зараз у пріоритеті не зростання врожайності як такої, а створення принципово нових генотипів зі спадково адаптивними генетичними системами контролю стійкості до окремих чи комплексних біотичних і абіотичних факторів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Методом внутрішньовидової гібридизації та цілеспрямованого добору за продуктивністю протягом останніх десятиліть вдалося істотно збільшити потенційну врожайність пшениці і, таким чином, значно перевершити межу 10,0 т/га [2, 3]. Зафіксовані у світовій практиці рекордні врожаї пшениці (17,4 т/га) свідчать про майже повну реалізацію генетичного потенціалу культури [4]. При цьому українські сорти практично не поступаються іноземним за потенційною продуктивністю [1, 2]. Проте, висока врожайність сучасних сортів пшениці супроводжується зростанням їх вимогливості до умов вирощування та агротехнічного забезпечення. Зокрема, короткостеблові високоінтенсивні генотипи є більш чутливими до ураження грибними хворобами, оскільки скорочені міжвузля і піхви не спроможні компенсувати фотосинтетичну і асиміляційну функцію уражених листків [5]. Крім того такі сорти часто потерпають від дефіциту азотних добрив, який притаманний умовам сьогодення внаслідок воєнних дій.

У зв'язку з цим одним з пріоритетних напрямів сучасної селекції є створення сортів, які поєднують високий потенціал урожайності з підвищеною адаптивністю до несприятливих факторів середовища. Такі генотипи повинні забезпечувати стабільний рівень продуктивності навіть за низького агрофону та екстремальних умов вирощування, що особливо актуально в умовах кліматичних змін і нестабільного ресурсного забезпечення аграрного виробництва [6, 7].

Для створення таких сортів у селекційні програми необхідно залучати вихідний матеріал з широким спектром мінливості за господарсько-цінними ознаками. Зокрема, генетичні ресурси споріднених дикорослих видів, у яких адаптивні ознаки, в тому числі, стійкість до збудників хвороб найбільш виражені [8–14]. Перспективними вважаються схрещування з видами, які мають спільні з пшеницею геноми, оскільки це забезпечує ефективне перенесення нових генетичних варіантів завдяки гомологічній кон'югації хромосом [8, 15]. У результаті стає можливим інтегрувати до геному пшениці не лише окремі гени, а й полігенні комплекси, що визначають низку господарсько цінних ознак [16]. Проте, ця перевага не означає, що таким чином можна відразу отримати новий сорт, оскільки подібне втручання завжди порушує унікальність асоціації генів, змінює загальний генний баланс і зменшує життєздатність і продуктивність рослин. Крім того, перенесений чужинний ген у пшеничному генетичному середовищі може зовсім не функціонувати або проявлятися слабше, ніж у вихідного виду. Саме тому новостворений селекційний матеріал потребує всебічного вивчення та подальшого вдосконалення шляхом тривалого селекційного добору, перш ніж він може бути використаний для створення нових високопродуктивних сортів [14].

У Селекційно-генетичному інституті – Національному центрі насіннєзнавства та сортовивчення (СГІ – НЦНС) методом віддаленої гібридизації, із залученням сучасних сортів пшениці, колекційних зразків, штучних видів, амфіплоїдів і мексиканських синтетиків, створено низку інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої, які є носіями цінних генів чужорідного походження та характеризуються підвищеною стійкістю до біотичних і абіотичних чинників, адаптивністю та високим потенціалом продуктивності.

Мета – оцінити новостворені інтрогресивні лінії озимої м’якої пшениці за стійкістю до поширених хвороб, продуктивністю, вмістом білка в зерні, встановити взаємозв’язки між цими ознаками, виділити оригінальний вихідний матеріал для використання в селекційних програмах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Матеріалом слугували 436 інтрогресивних ліній пшениці м’якої озимої, отриманих шляхом насичувальних або ступінчатих схрещувань сучасних сортів селекції СГІ – НЦНС (Одеська 267, Альбатрос одеський, Селянка, Куяльник, Ніконія та ін.) з похідними різних джерел чужинних ознак [17-19], а також 6 сортів-стандартів для посушливої кліматичної зони України (Антонівка, Куяльник, Мудрість одеська, Ветеран, Оптима одеська і Наснага). Дослідні лінії характеризуються різним походженням та ступенем насиченості генетичним матеріалом сучасних сортів, а похідні джерел чужинних ознак представлені 3 рекомбінантними первинними та 1 покращеною інтрогресивними лініями, 1 сортом, 1 колекційним зразком та 1 транслокаційною лінією, 2 оригінальними амфіплоїдами за участі *Elymus sibiricus* L. та 6 амфіплоїдами за участі *Aegilops tauschii* Coss. При цьому колекційні зразки та амфіплоїди отримані з робочих колекцій дикорослих видів

і амфіплоїдів відділу загальної та молекулярної генетики і відділу генетичних основ селекції СГІ – НЦНС. Усе різноманіття вихідних форм, залучених у схрещування з сортами СГІ – НЦНС, класифіковано в залежності від джерела стійкості (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація вихідних компонентів схрещування відповідно до джерел стійкості

Джерело стійкості	Батьківські форми, залучені у схрещування для одержання інтрогресивних ліній
H74/90-245	H74/90-245; E200/97-2; H242/97-1; E125/03; E214/09-1
Амфіплоїди	ПЕАГ (*T. dicoccum* / *Ae. tauschii*); АД Жирова (*T. militinae* / *Ae. tauschii*)
SHW	ES4 (CIGM87.2775, WX193); ES17 (CIGM87.2760, WX220); ES20 (CIGM87.2761, WX221); ES25 (CIGM86.942, WX224) [1)]
MA1	MA1
Інші	ЧЕ1342/98 та ЧЕ1345/98 (*T. durum* Чорномор / *Elytricum fertile*); Віген

Примітка.
[1)] Пропис комбінації схрещування та № зразка *Ae. tauschii* по каталогу Wheat Wide Crosses (CIMMYT, Мексика) [http//www.KSU.edu/wgre/germplasm/synthetics.html]

Цей розподіл умовний, оскільки у родоводі зразка H74/90-245, як і амфіплоїдів ПЕАГ і АД Жирова, присутній *Ae. tauschii*. Проте лише похідні зразка H74/90-245 мають пшенично-житню транслокацію (ПЖТ) 1BL.1RS та *T. timopheevii* в родоводі. Синтетична гексаплоїдна пшениця (амфіплоїди *T. durum Desf.* сорт Altar 84 / зразки *Ae. tauschii Coss.*, http//www.KSU.edu/wgre/germplasm/synthetics.html), що віднесена до джерела «SHW» – synthetic hexaploid wheat, не має в родоводі інших чужинних джерел стійкості, крім різних зразків егілопса [20]. Досить багато матеріалу походить від схрещувань зі створеною проф. А. Лукашевським лінією MA1, яка має модифіковану шляхом заміни методом хромосомної інженерії двох сегментів жита інтеркалярними сегментами пшеничного хроматину ПЖТ 1BL.1RS$_m$ [21]. ПЖТ зберігає генний кластер стійкості до хвороб *Pm8/Yr9/Lr26/Sr31* при відсутності локуса *Sec-1*, відомого негативним впливом на якість хліба. До класу «Інші» віднесено батьківські форми, які не мають спільного походження, а об'єднані через малу кількість та статистичну незначущість їхніх похідних.

Оцінювання дослідного матеріалу проводили у 2020–2025 рр. в контрольному розсаднику (КР-1) відділу селекції та насінництва пшениці СГІ – НЦНС відповідно до методики селекційного процесу самозапильних культур [22]. Попередником у дослідах був чорний пар. Ранньовесняне підживлення здійснювали шляхом внесення азотних добрив по таломерзлому ґрунту з розрахунку 35 кг/га д. р. Сорти-стандарти (Антонівка, Куяльник, Октава,

Мудрість, Житниця, Наснага та ін.) і рекурентну форму Одеська 267 висівали через кожні 10 селекційних номерів у трьох-чотирьох повтореннях. Оскільки пріоритетом дослідження була стійкість до хвороб, хімічний захист посівів від хвороб не застосовували.

Погодні умови в роки досліджень істотно варіювали, що дало можливість об'єктивної оцінки генотипів за досліджуваними ознаками. Зокрема, осінній період 2020-2021, 2021-2022 та 2023-2024 рр. характеризувався гострою ґрунтовою посухою, яка призвела до затримки появи сходів, ослаблення рослин і зниженню продуктивного стеблостою, що негативно вплинуло на їх подальший розвиток. У сезонах 2022–2023 та 2024–2025 рр. завдяки достатньому зволоженню ґрунту восени й навесні склалися сприятливі умови для своєчасної появи сходів, тривалої осінньої вегетації та формування високопродуктивного стеблостою.

Стійкість до поширених захворювань (борошниста роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* March. = syn. *Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* March.), листкова (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici* Rob. ex Desm. = syn. *P. triticina* Erikss. & Henn.) та жовта (*Puccinia striiformis* West.) іржа, септоріоз листя (*Zymoseptoria tritici* (Desm.) = syn. *Septoria tritici* Rob. ex Desm.)) досліджувалась на природному інфекційному фоні. Стійкість генотипів до стеблової іржі (*Puccinia graminis* sp. *tritici* Erikss. & Henn.) оцінювали в інфекційному розсаднику відділу фітопатології та ентомології СГІ–НЦНС на штучно створеному провокаційному фоні з обсівом накопичувача. Ступінь ураження дорослих рослин визначали у фазі максимального розвитку хвороби за 9-бальною інтегрованою шкалою, розробленою на основі модифікованої шкали Саарі і Прескотта і уніфікованою для усіх хвороб [23]. Її перевагою є пряма пропорційність посилення стійкості рослин до хвороб збільшенню поділок шкали, що спрощує інтерпретацію кореляційних зв'язків.

Матеріал також оцінювався за датою колосіння, висотою рослин, урожайністю. Вмістом білка визначали у цільнозмеленому борошні за методом К'єльдаля [24], на приладі Kjeltec-Auto 1030 («FOSS», Швеція), масу 1000 зерен (МТЗ) – за ДСТУ 4138-2002 [25]. Для вивчення білковості ліній розраховували додаткові її критерії: «Збір білка з одиниці площі» [ц/га] = («Урожайність сухого зерна», ц/га × «Вміст білка в зерні», %) / 100 % і «Абсолютний вміст білка в перерахунку на 1000 зернин» [г] = («МТЗ", г × «Вміст білка», %) / 100%. Це дозволило частково нівелювати негативну кореляцію між білковістю і продуктивністю ліній та усунути дисперсію ознаки вміст білка, обумовлену зморшкуватістю зерна. Генотипи, що мали найвищі показники стійкості до більшості хвороб вважались ефективними для добору на групову стійкість.

Дані опрацьовували за допомогою кореляційного, дисперсійного та статистичного аналізу. Перед аналізом значення кількісних приводили до середніх значень всього дисперсійного комплексу шляхом внесення факторіальних поправок по фактору «Рік». Кореляційний аналіз виконували, розраховуючи непараметричний коефіцієнт кореляції Спірмена (R_{sp}), який не

вимагає нормальності розподілу даних [26]. Для порівняння варіантів досліду та опису розподілів визначали медіану розподілу (*Me*), середнє арифметичне (*M*), стандартне відхилення (*SD*), ліміти варіації (*LV*), найменшу істотну різницю (НІР) та ступінь значущості того чи іншого показника, критерію або коефіцієнта (*p*). Визначені нами або взяті з літератури показники наводяться в таблицях і тексті з уніфікованими позначеннями їхньої вірогідності: *, ** і *** – вірогідні при $p < 0,05$, 0,01, і 0,001 рівні значущості, відповідно. Позначення хвороб і морфологічних ознак в таблицях і тексті статті наведені у відповідності з міжнародним каталогом генних символів [27].

Досліджувані лінії суттєво різнилися за реакцією на ураження борошнистою росою, причому саме для цієї хвороби відзначено найбільшу мінливість за роками. Кількість стійких генотипів була невеликою, а рівень їх стійкості значно залежав від погодних умов. Суттєву частку становили лінії, стійкі до бурої та жовтої іржі, що підтверджується вищими середніми значеннями та медіанами бальних оцінок (табл. 2), що є результатом успішного перенесення чужорідних генів стійкості ***Lr*** і ***Yr***.

Максимальний рівень стійкості до стеблової іржі було виявлено серед похідних зразка Н74/90-245 та лінії МА1, що пов'язано з наявністю пшенично-житньої транслокації 1BL.1RS. Водночас серед похідних амфіплоїдів за участю *Aegilops tauschii* такі генотипи траплялися доволі рідко. Для більшості з них характерним було зниження рівня стійкості у процесі вегетації: у фазі цвітіння вони оцінювалися на 7–8 балів, тоді як перед збиранням урожаю показники знижувалися до 2–4 балів.

Ліній високостійких до септоріозу не виявлено. Найкращі зразки характеризувалися помірною сприйнятливістю (4–5 балів), що відповідало рівню стандартів. Лише 8 з 436 досліджених ліній (1,8%), переважно майже ізогенні лінії на генетичній основі сорту Одеська 267, та лінія PIL225PH20, перевищили стандарти за цією ознакою. Імовірно, така реакція пов'язана не з генетичною стійкістю, а з фізіологічними особливостями, насамперед пізньостиглістю, тому вона проявлялася не в усі роки досліджень. Це також підтверджується низькими значеннями медіани, середнього та стандартного відхилення (табл. 2, 4).

Варто зазначити, що характер розподілу ліній за реакцією на ту чи іншу хворобу дозволяє припустити, що стійкість до видів іржі, а в деяких варіантах і до борошнистої роси, контролюється головними генами, оскільки вся сукупність ліній незалежно від джерела стійкості чітко розподіляється на дві основні групи (стійкі та сприйнятливі), з відносно невисокою часткою проміжних форм і характеризується високими значеннями *SD* і значним розмахом лімітів варіації. При цьому, за виключенням ліній з джерела «Інші», реакція ліній на стеблову іржу була максимально варіабельною, порівняно з іншими хворобами, що свідчить про низьку кількість генетичних детермінант стійкості до збудника.

Інша картина спостерігається стосовно септоріозу і борошнистої роси, зокрема, у комбінаціях МА1, де більшість ліній відносилася до сприйнятливих (3-4 бали). Розподіл ліній характеризується високою часткою проміжних форм,

низькими значеннями *SD* і вузьким розмахом лімітів варіації (табл. 2). Це свідчить, що толерантність до септоріозу та борошнистої роси, ймовірно, має полігенну (комплементарну) природу, є наслідком позитивної трансгресії та походить від мінорних джерел стійкості. На відміну від генетично детермінованої стійкості до іржастих хвороб, такі ознаки значно складніше закріплюються і передаються потомству при схрещуванні.

Таблиця 2

Розподіл інтрогресивних ліній, переданих в контрольний розсадник, за стійкістю до поширених захворювань, в залежності від джерела стійкості

Джерело стійкості	Хвороба [1)]	% ліній з реакцією (бали)					Статистичні показники [3)]			
		сприйнятливих			стійких					
		1-2	3-4	5	6-7	8-9	*Me*	*M*	*SD*	*LV*
H74/90-245	PM	-	47,2	18,6	26,8	9,3	5	5,1	1,51	3–8
(***N*** = 161) [2)]	LR	0,6	29,8	17,4	47,2	5,0	6	5,7	1,41	2–9
	YR	-	37,3	9,9	52,2	0,6	6	5,5	1,45	3–8
	SR	1,9	11,8	5,0	50,3	31,1	7	6,6	1,53	1–8
	STB	0,8	80,8	16,0	2,4	-	4	3,9	0,76	2–6
Амфіплоїди	PM	1,9	61,1	11,1	18,5	7,4	4	4,5	1,48	2–8
(***N*** = 54)	LR	-	13,0	9,3	35,2	42,6	7	6,7	1,47	3–8
	YR	-	42,6	18,5	38,9	-	5	5,1	1,36	3–7
	SR	20,4	40,7	20,4	14,8	3,7	4	4,1	1,89	1–8
	STB	19,2	65,4	5,8	9,6	-	4	3,7	1,14	2–6
SHW	PM	2,4	36,9	19,2	34,7	7,8	5	5,1	1,51	2–8
(***N*** = 167)	LR	3,0	24,0	15,0	48,5	9,6	6	5,7	1,60	1–8
	YR	6,0	42,5	1,8	47,3	2,4	5	5,2	1,68	2–8
	SR	32,9	19,7	9,6	36,5	1,2	4	4,2	2,20	1–8
	STB	1,8	86,6	10,7	0,9	-	4	3,8	0,69	2–6
MA1	PM	3,1	78,1	12,5	-	6,3	4	4,2	1,19	2–8
(***N*** = 32)	LR	3,1	34,4	18,7	43,7	-	5	4,9	1,44	2–7
	YR	-	43,7	43,7	12,5	-	5	4,5	1,11	3–7
	SR	18,7	6,2	28,1	18,7	28,1	5	5,4	2,15	2–8
	STB	-	90,6	6,2	3,1	-	4	3,7	0,49	3–6
Інші	PM	-	45,4	18,2	13,6	22,7	5	5,2	1,77	3–8
(***N*** = 22)	LR	-	50,0	36,4	9,1	-	4	4,5	0,86	3–7
	YR	4,5	63,6	4,5	27,3	-	4	4,5	1,37	2–7
	SR	31,8	50,0	13,6	4,5	-	3	3,1	1,38	1–6
	STB	4,5	86,4	9,1	-	-	4	3,9	0,61	2–5

Примітки:

[1)] PM, LR, YR, SR, STB – умовні позначення борошнистої роси, листкової, жовтої і стеблової іржі та септоріозу, відповідно.

[2)] *N* – кількість досліджених інтрогресивних ліній.

[3)] *Me* – медіана розподілу; *M* – середня арифметична ознаки по лініям; *SD* – стандартне відхилення; *LV* – ліміти варіації (min-max).

Інтрогресивні лінії характеризувалися широким розмахом мінливості за показниками продуктивності та якості зерна. Аналіз агрономічних ознак у контрольному розсаднику показав, що їх прояв залежав як від походження вихідного матеріалу, так і від рівня стійкості до хвороб. За результатами кореляційного аналізу (табл. 3) достовірний позитивний зв'язок між урожайністю та стійкістю виявлено лише у окремих групах: у похідних лінії МА1 – зі стійкістю до жовтої (Rsp = 0,54**) і стеблової (Rsp = 0,42*) іржі, а в групі «Інші» – до борошнистої роси (Rsp = 0,70***) та жовтої іржі (Rsp = 0,46*). Для цієї ж групи встановлено слабкий негативний зв'язок між урожайністю і толерантністю до септоріозу (Rsp = -0,47*).

Таблиця 3

Результати кореляційного аналізу ознак стійкості у інтрогресивних ліній

Джерело стійкості	Пари ознак (R_{sp})							
	стій-кість [1)]	дата ко-лосіння	висота рослин	урожай-ність	вміст білка	збір білка	МТЗ [3)]	АВБ [3)]
Н74/90-245	PM	-0,03	0,00	0,05	-0,26*	0,17	0,10	-0,17
(*N*=161) [2)]	LR	0,12	-0,11	0,02	0,10	0,13	0,17	0,13
	YR	-0,04	0,05	0,09	-0,18*	0,25*	0,18*	-0,03
	SR	0,02	-0,14	0,01	0,14	-0,09	0,01	-0,03
	STB	0,22*	0,18*	0,00	-0,11	-0,09	0,26*	0,16
Амфіплоїди	PM	0,15	0,21	0,03	0,10	0,01	0,33*	0,48*
(*N* = 54)	LR	-0,16	-0,04	-0,04	0,63***	0,20	0,08	0,59**
	YR	0,19	-0,07	-0,09	0,15	-0,10	0,30	0,52**
	SR	0,01	-0,28*	-0,12	-0,28	-0,05	0,00	-0,33*
	STB	0,35*	0,33*	-0,18	-0,09	-0,59**	0,06	-0,03
SHW	PM	0,14	0,07	0,02	-0,14	-0,11	-0,01	-0,14
(*N* = 167)	LR	-0,02	0,11	-0,06	-0,12	-0,15	0,14	0,10
	YR	-0,01	0,03	0,05	0,10	0,27**	0,16*	0,36***
	SR	0,22**	-0,20*	0,00	0,24**	0,15	-0,17*	0,06
	STB	-0,08	-0,03	0,13	0,08	-0,08	0,15	0,15
МА1	PM	0,27	0,03	-0,08	-0,18	0,59***	-0,17	-0,35
(*N* = 32)	LR	-0,08	-0,20	0,13	0,18	-0,06	0,34	-0,28
	YR	0,20	-0,10	0,54**	-0,39*	-0,16	-0,08	-0,54**
	SR	-0,08	-0,45*	0,42*	0,10	-0,57**	0,59***	0,07
	STB	0,57	-0,15	0,00	-0,06	0,00	0,51**	-0,60***
Інші	PM	0,15	-0,33	0,70***	0,10	0,50*	0,24	-0,13
(*N* = 22)	LR	-0,21	-0,50*	0,08	0,29	-0,09	0,01	0,07
	YR	0,18	-0,30	0,46*	0,27	0,39	0,32	0,27
	SR	0,06	-0,43*	0,01	0,34	0,22	-0,21	0,13
	STB	-0,22	0,14	-0,47*	-0,22	0,14	-0,28	-0,47*

Примітки:

* – вірогідно при $p<0,05$; ** – вірогідно при $p<0,01$; *** – вірогідно при $p<0,001$.

[1)] PM, LR, YR, SR, STB – стійкість, відповідно, до борошнистої роси, листкової, жовтої і стеблової іржі та септоріозу.

[2)] *N* – кількість інтрогресивних ліній.

[3)] МТЗ – маса 1000 зернин, АВБ – абсолютний вміст білка в 1000 зернин.

У більш чисельних групах ліній достовірної кореляції урожайності зі стійкістю не було виявлено. Не спостерігалось також кореляції між урожайністю і стійкістю до листкової іржі у будь-якому варіанті досліду. Висока кореляційна залежність між урожайністю і стійкістю до борошнистої роси спостерігалася в групі «Інші».

Варто зазначити, що відсутність негативної кореляції між урожайністю та стійкістю до бурої листкової і стеблової іржі (табл. 3) за умов слабкого природного інфекційного фону є позитивним результатом, оскільки свідчить про відсутність небажаного впливу чужорідних генів стійкості на продуктивність.

Наявність позитивного зв'язку стійкості до листкової (в групі «Амфіплоїди») або стеблової (в групі «SHW») іржі з вмістом білка (табл. 3) пояснюється погіршенням умов наливу зерна внаслідок ураження патогенами або можливістю генетичного зчеплення чужинних генів стійкості з детермінантами підвищеного вмісту білка в зерні. Натомість, негативна кореляція (R_{sp} = -0,26*) між стійкістю до борошнистої роси і вмістом білка у групі «H74/90-245» як і між стійкістю до жовтої іржі і вмістом білка у групах «H74/90-245» (R_{sp} =-0,18*) і «MA1» (R_{sp} = -0,39*), можливо викликана щуплістю зерна у сильно уражених ліній. Цим же пояснюється слабка позитивна кореляція стійкості до хвороб і МТЗ у окремих варіантах досліду (табл. 3).

Умови проведення досліджень у контрольному розсаднику істотно різнились за роками, однак загалом були несприятливими для формування високої продуктивності. Це підтверджується відносно низькою урожайністю стандартів (M = 4,70 т/га; LV = 3,98–5,84 т/га) та достовірним впливом умов року на рівень урожайності ($F_{5:35}$ = 2,47**). При цьому лінії з високою стійкістю до кількох хвороб, як правило, характеризувались низькою врожайністю, вмістом білка або дрібним зерном. Проте, виділено лінії з досить високими показниками урожайності, МТЗ або вмісту білка, які зберегли набір цільових ознак стійкості проти кількох збудників одночасно (E125/03, E212/09, PIL692/18, AIL341/18), а тому мають особливу цінність як джерела групової стійкості (табл. 4).

Взагалі, внаслідок відновлення у інтрогресивного матеріалу генетичного середовища сучасних високопродуктивних сортів шляхом ступінчастих схрещувань, спостерігається підвищення продуктивності покращених ліній, порівняно з колекційним зразком H74/90-245, урожайність якого в умовах років дослідження була вкрай низькою – 1,90 т/га (табл. 4).

При цьому кожного року виділялись лінії, які в даних умовах перевершували стандарти за окремими ознаками або їх комплексом. Як правило, такі лінії відрізнялись помірною стійкістю до однієї-двох хвороб і помірною сприйнятливістю до інших. Так, за урожайністю середні значення стандартів перевищували наступні лінії: E125/03 – 5,68 т/га, PIL906/16 – 5,60 т/га, AIL236PH18 – 5,50 т/га. За абсолютними значеннями комплексу ознак (урожайність, вміст білка, збір білка, МТЗ), відповідно, виділились лінії: E2792/14-2 – 5,37 т/га, 11,5 %, 0,62 т/га, 41,2 г; E212/09 – 4,89 т/га, 11,6 %, 0,57 т/га, 42,4 г; AIL391/18 – 5,39 т/га, 11,7 %, 0,65 т/га, 38,9 г. За абсолютним вмістом

білка в 1000 зернин виділились найбільш крупнозерні та високобілкові лінії: PIL692/18 – 5,35 г, PIL626/18 – 5,32 г, AIL471/18 – 5,26 г, які, проте, не характеризувались високою урожайністю (табл. 4).

Таблиця 4

Характеристика ліній з груповою стійкістю до хвороб

Лінія	Стійкість до (балл)				ДК,[3] .05	ВР, см	Ур., т/га	ВБ, %	ЗБ, т/га	МТЗ, г	АВБ, г
	PM[1]	LR	YR	SR							
H74/90-245	8	9	6	8	18,6	79,2	1,90	10,8	0,21	42,4	4,58
E125/03	7	8	7	8	19,5	106,7	5,68	10,9	0,62	42,1	4,59
E212/09	7-8[2]	7	7	5-7	15,0	82,2	4,89	11,6	0,57	42,4	4,92
E214/09-7	5-7	4-7	7-8	6-7	16,6	86,5	4,42	10,3	0,45	42,1	4,33
E2792/14-2	4	7	7	7	14,5	80,4	5,37	11,5	0,62	41,2	4,74
PIL396/16	8	7	8	3	13,5	80,8	4,03	10,9	0,46	38,8	4,16
PIL816/16	8	7	7	4	12,5	90,8	4,22	11,4	0,50	39,5	4,41
PIL839/16	8	8	7	4	16,5	98,8	3,32	11,0	0,39	46,4	5,01
PIL906/16	8	8	7	2	18,5	73,8	5,60	11,0	0,64	43,5	4,69
AIL341/18	8	6-7	7	7	16,5	98,8	5,27	11,5	0,63	36,3	4,10
AIL387/18	8	4	7	7	17,5	83,6	5,07	10,4	0,55	38,6	3,93
AIL391/18	8	5	7	7	19,5	83,8	5,39	11,7	0,65	38,9	4,46
AIL407/18	7	6	4	8	16,5	83,8	3,44	11,9	0,43	37,2	4,35
AIL423/18	8	5	7	7	15,5	93,8	4,76	10,8	0,54	38,0	4,02
AIL465/18	7	8	7	3	13,5	83,8	3,75	10,4	0,41	46,2	4,72
AIL471/18	6	8	7	4	16,5	98,8	4,51	12,3	0,58	43,5	5,26
PIL626/18	8	7	3	7	14,5	91,8	3,90	12,1	0,50	44,7	5,32
PIL628/18	8	7	3	7	16,5	88,8	3,19	11,5	0,39	39,2	4,41
PIL692/18	4	8	7	7	12,5	78,8	4,57	12,4	0,59	43,8	5,35
AIL14PH18	8	8	7	4	16,5	95,8	4,76	11,3	0,56	42,5	4,73
AIL84PH18	5	6	7	7	13,5	83,8	4,49	10,6	0,50	36,6	3,80
AIL103PH18	6	7	5	7	13,5	88,8	4,50	11,6	0,54	43,7	4,96
AIL236PH18	5	7	6	8	13,5	76,8	5,50	10,7	0,61	39,0	4,09
AIL35PH20	7	8	7	8	11,6	81,2	3,93	11,9	0,47	40,4	4,81
578PH16	6-8	7-8	6-7	7	17,5	90,8	2,13	15,9	0,37	23,9	3,67
M (*Me*) [4]	(5)	(6)	(5)	(6)	14,5	87,6	4,10	11,5	0,43	39,4	4,43
St [4]	**3–6**	**3–5**	**3–7**	**1-4**	**13,6**	**90,7**	**4,70**	**10,6**	**0,44**	**39,5**	**4,03**
$НІР_{0.05}$	–	–	–	–	3,5	15,1	1,69	1,5	0,28	6,2	0,70

Примітки:
[1] PM, LR, YR, SR – стійкість, відповідно, до борошнистої роси, листкової, жовтої і стеблової іржі. До септоріозу всі лінії мали сприйнятливість на рівні 3-4 балів.
[2] Позначення 7-8 означає розмах варіації бальних оцінок за роки дослідження. Ураження накопичувачів інфекції та індикатора високої сприйнятливості до хвороб (Одеська напівкарликова) – 1-2 бали кожного року.
[3] ДК – дата колосіння, ВР – висота рослин, Ур. – урожайність, ВБ – загальний вміст білка, ЗБ – збір білка, МТЗ – маса 1000 зернин, АВБ – абсолютний вміст білка в 1000 зернин.
[4] *M* і *Me* – середнє значення ознаки та медіана розподілу бальних оцінок стійкості у всієї сукупності інтрогресивних ліній, St –значення стандартів, $НІР_{0.05}$ – найменша істотна різниця при $p<0,05$.

Взагалі, суттєвим недоліком високопродуктивних інтрогресивних ліній є відсутність стабільності урожайності в різних умовах. Це, як правило, притаманне похідним екологічно віддалених гібридів. Вочевидь, ця

закономірність стосується і міжвидової гібридизації, яка, в певній мірі, також є екологічно віддаленою.

Як правило, генотипи, отримані безпосередньо від міжвидових схрещувань не завжди є достатньо продуктивними у вищих ланках селекційного процесу (попередньому та конкурсному сортовипробуваннях), мають інші негативні характеристики, навіть якщо вони перевершували стандарти в КР-1. Проте, завдяки додатковим схрещуванням та цілеспрямованому добору, створені удосконалені лінії, які за продуктивністю перевершують найкращі стандартні сорти Зиск та Наснагу. Виділено низку селекційних ліній пшениці м'якої озимої з високою стійкістю до видів іржі та септоріозу листя, підвищеним вмістом білка в зерні.

За результатами випробувань в КР-1 протягом 2020-2025 рр. виділено перспективні інтрогресивні лінії Е2792/14-2, Е212/09, AIL341/18 і AIL35PH20 – джерела продуктивності та стійкості до збудників поширених хвороб.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Визначено, що стійкість інтрогресивних ліній до видів іржі, контролюється головними генами, толерантність до септоріозу та борошнистої роси має полігенну (комплементарну) природу і є наслідком позитивної трансгресії та походить від мінорних джерел стійкості. Встановлено високу варіабельність показників продуктивності та вмісту білка в зерні інтрогресивних ліній. Достовірний позитивний зв'язок між урожайністю та стійкістю виявлено у похідних лінії МА1 – зі стійкістю до жовтої (Rsp = 0,54) і стеблової іржі (Rsp = 0,42), у ліній з групи «Інші» – до борошнистої роси (Rsp = 0,70) та жовтої іржі (Rsp = 0,46). Наявність позитивного зв'язку стійкості до видів іржі з вмістом білка пояснюється погіршенням умов наливу зерна внаслідок ураження патогенами або можливістю генетичного зчеплення чужинних генів стійкості з детермінантами підвищеного вмісту білка в зерні. Негативна кореляція (R_{sp} = -0,26*) між стійкістю до борошнистої роси і вмістом білка у групі «Н74/90-245» як і між стійкістю до жовтої іржі і вмістом білка у групах «Н74/90-245» (R_{sp} = -0,18*) і «МА1» (R_{sp} = -0,39*) викликана щуплістю зерна у сильно уражених ліній.

За результатами вивчення у контрольному розсаднику виділено інтрогресивні лінії з комплексом господарсько цінних ознак (AIL125/03, Е212/09, Е2792/14-2, AIL341/18, AIL35PH20), які є перспективним вихідним матеріалом для селекції озимої м'якої пшениці на стійкість до хвороб, продуктивність, якісні показники.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Лифенко С.П., Наконечний М.Ю., Нарган Т.П. Особливості селекції сортів пшениці м'якої озимої степового екотипу у зв'язку зі змінами клімату в умовах півдня України. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 3 (816). С. 53–62. doi: 0.31073/agrovisnyk202103-07.

2. Литвиненко М. А. 100 років розвитку селекційних програм пшениці м'якої озимої. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2016. Т. 31, № 2. С. 75–82. https://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr_2016_2_14.
3. Моргун Б. В. Стан та перспективи використання пшенично-житніх транслокацій у селекції озимої м'якої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т. 48, № 4. С. 324–343. https://www.researchgate.net/publication/331608635.
4. Highest-wheat-yield. [Електронний ресурс] – Режим доступу: (https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/highest-wheat-yield).
5. Лифенко С.П., Єриняк М.І., Наконечний М.Ю. Методи та результати селекції високоінтенсивних сортів пшениці м'якої озимої у умовах Півдня України. України. Збірник наукових праць СГІ–НЦНС. 2016. Вип.27(67). С. 23–35. Режим доступу: https://old.sgi.in.ua/images/Vidanna_instityty/Zbirnik_naykovih_prac/Arhiv/Zb27672016.pdf
6. Литвиненко Н.А. Створення сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.), адаптованих до змін клімату на півдні України. Збірник наукових праць СГІ – НЦНС. 2016. Вип.27(67). С. 36–53. Режим доступу: https://old.sgi.in.ua/images/Vidanna_instityty/Zbirnik_naykovih_prac/Arhiv/Zb27672016.pdf
7. Cucu M.A., Choudhary R., Trkulja V., Garg S., Mati´c S. Utilizing Environmentally Friendly Techniques for the Sustainable Control of Plant Pathogens: A Review. Agronomy.2025. 15(1551). P. 1–47. https://doi.org/10.3390/agronomy15071551
8. Warburton M., Crossa J., Franco J., Kazi M., Trethowan R., Rajaram S., Wolfgang H., Zhang P., Dresigaker S., Ginkel M. Bringing wild relatives back into the family: recovering genetic diversity in CIMMYT improved wheat germplasm. *Euphytica*. 2006. Vol. 149, Iss. 3. P. 289–301. doi: 10.1007/s10681-005-9077-0
9. Моргун В. В., Топчій Т. В. Пошук нових джерел стійкості пшениці озимої до основних збудників грибних хвороб. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т. 48, № 5. С. 393–400. doi: 10.15407/frg2016.05.393
10. Sharma S., Schulthess A. W., Bassi F.M., Badaeva, E.D., Neumann K., Graner A., Özkan H., Werner P., Knüpffer H, Kilian, B. Introducing beneficial alleles from plant genetic resources into the wheat germplasm. *Biology*. 2021. Vol. 10(982). P. 1–38. doi: 10.3390/biology10100982.
11. Pirko Ya. V., Kozub N. O., Rabokon A. M., Shysha O.M., Karelov A.V., Yemets A., Sozinov A.O., Sozinova O.I., Blume Ya. Markers linked to stem rust resistance genes *Sr39* and *Sr40* for selecting wheat breeding lines. *Cytology and Genetics*. 2024. Vol. 58 (6). P. 525–535. doi: 10.3103/S0095452724060069.
12. Dvorak J., Deal K. R., McGuire P. E., McGuire P. E., Conley E. J., Anderson J.A., Fedak G., Malvick J. A., Chen H., Müller H.-G. High levels of type II Fusarium head blight resistance conferred in wheat by combining wheat gene *Fhb1* with *Lophopyrum elongatum* gene $Fhb7^{The2}$. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2025. Vol. 61 (1). P. 31–42. doi: 10.17221/104/2024-CJGPB.
13. Kruppa K., Türkösi E., Holušová K., Kalapos B., Szakacs E., Cséplő M., Farkas A., Ivanizs L., Szőke-Pázsi K., Mikó P., Kovács P., Gulyás A., Hidvégi N., Molnár-Láng M., Darko E., Bartoš J., Gaál E., Molnár I. Genotyping-by-sequencing uncovers a *Thinopyrum* 4StS·1J^{VS}S Robertsonian translocation linked to multiple stress tolerances in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics.* 2025. Vol.138 (1), art. 13. P. 1–19. doi: 10.1007/s00122-024-04791-x.
14. Holub Ye. A., Sauliak N. I., Vasyliev O.A., Lytvynenko M.A., Traskovetska V.A., Shcherbyna Z,V., Bushulian M.A., Kirchuk Ye.I. Characteristics of the source material for breeding winter wheat for group resistance to leaf and stem pathogens. *Plant Varieties Studying and protection*. 2025. Vol. 21(1). P. 17–24. doi: 10.21498/2518-1017.21.1.2025.327497.
15. Bhatta, M., Morgounov, A., Belamkar, V., Poland, J., Baenziger, S. Unlocking the novel genetic diversity and population structure of synthetic hexaploid wheat, *BMC Genomics*. 2018. Vol. 19, art. 591. P. 1–12. doi.org/10.1186/s12864-018-4969-2.

16. Mujeeb-Kazi A., Gul A., Farooq M., Rizwan S., Ahmad I. Rebirth of synthetic hexaploids with global implications for wheat improvement, *Aust. J. Agric. Res*., 2008, Vol. 59, no. 10, P. 391–398, doi.org/10.1071/AR07226.
17. Моцний І.І., Молодченкова О.О., Смертенко А.П., Литвиненко М.А., Голуб Є.А., Міщенко Л.Т. Створення інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої з ознаками стійкості до фітопатогенів. Вісник ОНУ. Сер.: Біологія. 2020. Т. 25, вип. 2 (47). С. 59–82.
18. Моцний І. І., Молодченкова О. О., Нарган Т. П., Наконечний М.Ю., Лифенко С.П., Фанін Я.С., Міщенко Л.Т. Оцінка похідних віддаленої гібридизації пшениці за агрономічними ознаками в посушливих умовах півдня України. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2022. Т. 31. С. 71–76. https://doi.org/10.7124/FEEO.v31.1487.
19. Моцний І. І., Нарган Т. П., Наконечний М. Ю., Лифенко С.П., Молодченкова О.О., Щербина З.В. Вплив чужинних генів стійкості до поширених хвороб на агрономічні ознаки пшениці м'якої озимої у посушливих умовах півдня України. *Вісник ОНУ. Сер.: Біологія*. 2022. Т. 27, Вип. 2(51). С. 9–29. https://doi.org/10.18524/2077–1746.2022.2(51).268652.
20. Rosyara U., Kishii M., Payne T., Sansaloni C. P., Singh R. P., Braun H. J., Dreisigacker S. Genetic contribution of synthetic hexaploid wheat to CIMMYT's spring bread wheat breeding germplasm. Scientific reports. 2019. 9(1), Art. number: 12355. https://doi.org/10.1038/s41598-019-47936-5.
21. Lukaszewski A. Manipulation of the 1BL.1RS translocation in wheat by induced homoelogus recombination. Crop Sci. 2000. V. 40, № 1. P. 216–225. doi: 10.2135/cropsci2000.401216x.
22. Ермантраут Е.Р., Гопцій Т.І., Каленська С.М., Криворучко Р.В. Методика селекційного експерименту (у рослинництві). Харків. 2014. 225 с. https://www.twirpx.com/file/3660864/
23. Бабаянц О. В., Бабаянц Л. Т. Основи селекції і методологія оцінок стійкості пшениці до збудників хвороб. Одеса: ВМВ, 2014. 401 с.
24. Kjeldahl J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift für analytische Chemie*. 1983. Vol. 22. Iss. 1. P. 366–383. doi: 10.1007/BF01338151.
25. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості / за ред. Кіндрук М. О. та ін. Держспоживстандарт України. Київ. 2003. С. 17–18. URL: https://www.studmed.ru/dstu-4138-2002-nasnnya-slskogospodarskih-kultur-metodi-viznachennya-yakost/e073265435f.html.
26. Соколов І. Д., Чеченєва Т. М., Соколова О. І., Наумов С.Ю., Мостовий О.А. Вступ до біометрії. Луганськ : Елтон-2. 2011. 190 с.
27. McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Morris C., Xia X.C. *Catalogue of gene symbols for wheat: 2017 Supplement*. Retrieved from: https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/ genes/macgene supplement2017.pdf

Ivan Motsnyi,
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher at the Department of General and Molecular Genetics,
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-1812-9481
e-mail: motsnyyii@gmail.com

Olga Molodchenkova,
Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Head of the Plant Biochemistry Laboratory,
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-2511-0866

e-mail:olgamolod@ukr.net

Mykola Lytvynenko,
Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the NAAS, Chief Researcher of the Department of Wheat Breeding and Seed Production,
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation,
Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-8605-6587
e-mail: dr_litvin@ukr.net

Evheniia Holub,
Candidate of Agricultural Sciences, Acting Head of the Wheat Breeding and Seed Production Department,
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation,
Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-3415-4193
e-mail: eva.golub.1979@ukr.net

Tetiana Nagran,
Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher of the Laboratory of Breeding of Intensive Wheat Varieties,
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation,
Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-8134-7975
e-mail:labinsort@ukr.net

Maryna Balvinska,
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Head of the Department of General and Molecular Genetics,
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation,
Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-0404-9787
e-mail: balvinska@yahoo.com

Rayisa Vozhehova,
Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the NAAS, Acting Director,
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation,
Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-3895-5633
e-mail: vozhegova57@ukr.net

Zoya Shcherbyna,
Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Scientific secretary,
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation,
Odesa, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-4630-8372
e- mail:zoyasgi09@ukr.net

INTROGRESSIVE LINES – VALUABLE STARTING MATERIAL FOR BREEDING OF WINTER BREAD WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

Abstract

Long-term breeding of winter wheat to increase yield has led to the use of genetically homogeneous varieties in production, which has caused the emergence of new aggressive races, the more frequent occurrence of epiphytotia, and, as a result, the loss of resistance of varieties, deterioration of their yield and quality indicators. Expansion of genetic variability is the key to overcoming this situation. One of the effective tools is the introgression into the wheat genome of foreign genetic plasma. In the PBGI – NCSCI, a number of introgressive lines of winter bread wheat were created by the method of distant hybridization, the evaluation of which for resistance to common diseases, productivity, protein content in grain and the creation of original source material based on them for use in breeding programs is the aim of this work.

The material used was 436 lines of winter bread wheat, mainly with introgressions from rye and Ae. tauschii, as well as T. timopheevii, T. dicoccum, T. militinae, Elymus sibiricus L.

The maximum level of resistance to stem rust was found among the derivatives of the sample H74/90-245 and the line MA1, which is associated with the presence of the wheat-rye translocation 1BL.1RS. Among the derivatives of amphiploids with the participation of Aegilops tauschii, such genotypes were almost not found. It was determined that the tolerance of introgressive lines to septoria and powdery mildew has a polygenic (complementary) nature and is a consequence of positive transgression and comes from minor sources of resistance.

High variability of productivity and protein content in grain of introgressive lines was established. A significant positive relationship between yield and resistance was found in the derived line MA1 – with resistance to yellow (Rsp = 0.54) and stem rust (Rsp = 0.42), in lines from the "Other" group – to powdery mildew (Rsp = 0.70) and yellow rust (Rsp = 0.46). The positive correlation between resistance to rust types and protein accumulation is attributed to the genetic linkage of alien resistance genes with determinants of elevated grain protein content.

Introgressive lines with a complex of economically valuable traits (AIL125/03, E212/09, E2792/14-2, AIL341/18, AIL35PH20) were identified, which are promising starting material for breeding winter bread wheat for disease resistance, productivity, and quality indicators.

Keywords: *Triticum aestivum L., introgression lines, Aegilops tauschii Coss., resistance, productivity.*

Reference

1. Lyfenko, S.Ph., Nakonechnyi, M.Yu. & Nargan, T. P. (2021). Peculiarities of the breeding of bread winter steppe ecotype wheat varieties in connection with climate change in the conditions of Southern Ukraine. *Visnyk agrarnoi nauky*, 99(3), 53–62. doi: 0.31073/agrovisnyk202103-07 [in Ukrainian].

2. Lytvynenko, M.A. (2016) 100-year history of the development of bread winter wheat breeding programs. *Plant varieties studying and protection*, 31(2), 75–82. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr_2016_2_14 [in Ukrainian].

3. Morgun, B.V. (2016). State and perspectives of wheat-rye translocations use in winter wheat breeding. *Plant Physiology and Genetics*, 48(4), 324–343. https://www.researchgate.net/publication/331608635 [In Ukrainian].

4. Highest-wheat-yield. [Electronic resource] – Retrieved from: https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/highest-wheat-yield.

5. Lyfenko, S.Ph., Yerynyak, M.I. & Nakonechnyi M.Yu. (2016). Methods and results of high-intensive varieties breeding of bread winter wheat in South Ukraine environmental. *Zbirnyk naukovykh prats' Selektsiyno-genetychnoho instytutu –Natsional'noho tsentru nasinnyeznavstva ta sortovyvchennya.* 27(67). 23–35 [in Ukrainian].

6. Lytvynenko, M. A. (2016). Creation of varieties of winter bread wheat (Triticum aestivum L.) adapted to climate changes in the south of Ukraine. *Zbirnyk naukovykh prats' Selektsiyno-*

genetychnoho instytutu – Natsional'noho tsentru nasinnyeznavstva ta sortovyvchennya, 27(67), 36–53. Retrieved from: https://old.sgi.in.ua/images/Vidanna_instityty/Zbirnik_naykovih_prac/Arhiv/Zb27672016.pdf [In Ukrainian].

7. Cucu, M.A., Choudhary, R., Trkulja, V., Garg, S. & Mati´c, S. (2025). Utilizing Environmentally Friendly Techniques for the Sustainable Control of Plant Pathogens: A Review. Agronomy, 15 (1551), 1–47. https://doi.org/10.3390/agronomy15071551

8. Warburton, M.L., Crossa, L., Franco, J., Kazi, M., Trethowan, R., Rajaram, S., Pfeiffer, W., Zhang, P., Dreisigacker, S. & van Ginkel, M. (2006). Bringing wild relatives back into the family: recovering genetic diversity in CIMMYT improved wheat germplasm. *Euphytica*, 149(3), 289–301. doi: 10.1007/ s10681-005-9077-0

9. Morgun, V. V. & Topchij, T. V. (2016). The search for new sources of winter wheat resistance to the main pathogens of fungal diseases. *Plant physiology and genetics,* 48(5), 393–400. doi: https://doi.org/10.15407/frg 2016.05.393 [In Ukrainian].

10. Sharma, S., Schulthess, A. W., Bassi, F.M., Badaeva, E.D., Neumann, K., Graner, A., Özkan, H., Werner, P., Knüpffer, H. & Kilian, B. (2021). Introducing beneficial alleles from plant genetic resources into the wheat germplasm. *Biology*, 10 (982), 1–38. doi: 10.3390/biology10100982.

11. Pirko, Ya. V., Kozub, N. O., Rabokon, A. M., Shysha, O.M., Karelov, A.V., Yemets, A., Sozinov, A.O., Sozinova, O.I., Blume Ya. (2024). Markers linked to stem rust resistance genes *Sr39* and *Sr40* for selecting wheat breeding lines. *Cytology and Genetics*, 58(6), 525–535. doi: 10.3103/S0095452724060069.

12. Pirko, Ya. V., Kozub, N. O., Rabokon, A. M., Shysha, O.M., Karelov, A.V., Yemets, A., Sozinov, A.O., Sozinova, O.I. & Blume, Ya. (2024). Markers linked to stem rust resistance genes *Sr39* and *Sr40* for selecting wheat breeding lines. *Cytology and Genetics*, 58 (6), 525–535. doi: 10.3103/S0095452724060069.

13. Kruppa, K., Türkösi, E., Holušová, K., Kalapos, B., Szakacs, E., Cséplő, M., Farkas, A., Ivanizs, L., Szőke-Pázsi, K., Mikó, P., Kovács, P., Gulyás, A., Hidvégi, N., Molnár-Láng, M., Darko, E., Bartoš, J., Gaál, E. & Molnár, I. (2025). Genotyping-by-sequencing uncovers a *Thinopyrum* 4StS·1J^{VS}S Robertsonian translocation linked to multiple stress tolerances in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics,*138(1), art. 13, 1–19. doi: 10.1007/s00122-024-04791-x.

14. Holub, Ye. A., Sauliak, N. I., Vasyliev, O. A., Lytvynenko, M.A., Traskovetska, V.A., Shcherbyna, Z,V., Bushulian, M.A. & Kirchuk Ye.I. (2025). Characteristics of the source material for breeding winter wheat for group resistance to leaf and stem pathogens. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(1),17–24. doi: 10.21498/2518-1017.21.1.2025.327497.

15. Bhatta, M., Morgounov, A., Belamkar, V., Poland, J. & Baenziger, S. (2018). Unlocking the novel genetic diversity and population structure of synthetic hexaploid wheat, *BMC Genomics*, 19, art. 591, 1–12, doi.org/10.1186/s12864-018-4969-2.

16. Mujeeb-Kazi, A., Gul, A., Farooq, M., Rizwan, S., & Ahmad, I. (2008). Rebirth of synthetic hexaploids with global implications for wheat improvement, *Aust. J. Agric. Res*., 59(10), 391–398, doi.org/10.1071/AR07226.

17. Motsnyi I.I., Molodchenkova O.O., Smertenko A.P., Lytvynenko M.A., Holub Ye.A., Mishchenko L.T. (2020). Development of introgression lines of winter bread wheat with traits of resistance to phytopathogens. *Odesa National University Herald. Biology,* 25, 2(47), 59–82. https://doi.org/10.18524/2077-1746.2020.2(47).218058 [In Ukrainian].

18. Motsnyi I. I., Molodchenkova O. O., Nargan T. P., Nakonechnyi M.Yu., Lyfenko S.P., Fanin J.S., Mishchenko L.T. (2022). Assessment of wheat wide hybridization derivatives for agronomic traits and disease resistance in drought conditions. *Factors in experimental evolution of organisms*. 31, 71–76. https://doi.org/10.7124/FEEO.v31.1487 [In Ukrainian].

19. Motsnyi I. I., Nargan T. P., Nakonechnyi M. Yu., Lyfenko S. Ph., Molodchenkova O. O., Shcherbyna Z. V. (2022). The influence of alien genes of resistance to common diseases on agronomic characters of winter bread wheat in the dry conditions of southern Ukraine. *Odesa National University Herald. Biology*, 27(2), 9–29. doi: 10.18524/2077–1746.2022.2(51).268652 [In Ukrainian].
20. Rosyara, U., Kishii, M., Payne, T., Sansaloni, C. P., Singh, R. P., Braun, H. J.& Dreisigacker, S. (2019). Genetic contribution of synthetic hexaploid wheat to CIMMYT's spring bread wheat breeding germplasm. Scientific reports. 9(1), Art. No 12355. https://doi.org/10.1038/s41598-019-47936-5.
21. Lukaszewski, A. (2000). Manipulation of the 1BL.1RS translocation in wheat by induced homoelogus recombination. Crop Sci., 40(1), 216–225. doi: 10.2135/cropsci2000.401216x.
22. Ermantraut, E.R., Hoptsii, T.I., Kalenska, S.M., & Kryvoruchko, R.V. (2014). *Methodology of breeding experiment (in crop production).* Kharkiv. 225 p. [In Ukrainian].
23. Babayants, O. V. & Babayants, L. T. (2014). *Bases of breeding and methodology of assessments of wheat resistance to pathogens*. Odesa : VMV. 401 p. [In Ukrainian].
24. Kjeldahl, J. (1983). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22(1), 366–383. doi: 10.1007/BF01338151.
25. DSTU 4138-2002 (2003). Crop seeds. Methods of quality determination / Kindruk, M.O., et al., *Derzhspozhyvstandart of Ukraine*. Kyiv, 17–18. Retrieved from: https://www.studmed.ru/dstu-4138-2002-nasnnya-slskogospodarskih-kultur-metodi-viznachennya-yakost/e073265435f.html [In Ukrainian].
26. Sokolov, I. D., Checheneva, T. M., Sokolova, O. I., Naumov, S. Yu., & Mostovyi, O.A. (2011). *Introduction to biometrics*. Luhansk: Elton-2. [In Ukrainian].
27. McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Morris C. & Xia X.C. *Catalogue of gene symbols for wheat: 2017 Supplement*. Retrieved from: https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/ genes/macgene supplement2017.pdf

Стаття надійшла до редакції 29.07.2026
Стаття пройшла рецензування 28.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

УДК: 631.4:631.53.01:632.9:57.085.2
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.23

Юрій Сотников,
кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій, кібернетики та захисту інформації
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID ID 0000-0003-1032-9283
email: yesaul.halt@knau.kharkov.ua

Сергій Рєзнік,
доктор філософії, викладач кафедри ґрунтознавства
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID ID 0000-0002-2703-1021
email: serhey021@gmail.com

Дмитро Гавва,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри ґрунтознавства
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID ID 0000-0001-6516-7846
email: pochvoved@ukr.net

Юрій Дегтярьов,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри ґрунтознавства
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID ID 0000-0003-1200-2364
email: degt7@ukr.net

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА АЛЕЛОПАТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТІВ РІЗНИХ АГРОЕКОСИСТЕМ ЗА МОРФОМЕТРИЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ПРОРОСТКІВ 16 ТЕСТ-КУЛЬТУР

Анотація

Наведено результати порівняльної оцінки алелопатичної активності ґрунтів різних агроекосистем за морфометричними показниками проростків 16 тест-культур. Актуальність дослідження зумовлена визначальною роллю ранніх етапів онтогенезу у формуванні конкурентоспроможності рослин, а також значенням ґрунту як складного біогеохімічного середовища, здатного накопичувати та трансформувати алелохімічні сполуки. Дослідження проводили методом лабораторного біотестування на чорноземі типовому середньогумусному середньосуглинковому Полтавської області. Ґрунтові зразки відбирали в межах чотирьох агроекосистем: насаджень абрикоса (Prunus armeniaca), горіха волоського (Juglans regia L.), плантації ехінацеї пурпурової (Echinacea purpurea) та перелогу з різнотрав'ям. Контрольним субстратом слугував кварцовий пісок. Реакцію рослин оцінювали за показниками схожості насіння, довжини кореня, довжини пагона та загальної довжини проростка. Загалом проаналізовано 16 000 морфометричних вимірювань.

Алелопатичний ефект визначали за нормалізованим індексом Response Index (NRI) відповідно до методики Williamson і Richardson.

Встановлено значну міжвидову варіабельність вихідних морфометричних параметрів проростків. Алелопатична реакція тест-культур мала виражений видоспецифічний і селективний характер. Найбільш чутливими до інгібувального впливу виявилися буряк (середній NRI = -0,438), кріп (-0,212), люпин (-0,206) та гарбуз (-0,174). Стабільну стимуляцію росту в усіх варіантах субстрату продемонстрували гірчиця біла (+0,402), цибуля піщана (+0,365), базилік (+0,324) та цибуля-батун (+0,297). Серед досліджених агроекосистем найсильніший інгібувальний ефект зафіксовано в ґрунті під ехінацеєю пурпуровою (середній NRI = -0,086; пригнічення 10 із 16 тест-культур), тоді як ґрунт перелогу характеризувався переважно стимулювальною дією (середній NRI = +0,130; позитивні значення NRI у 11 культур). Ґрунт під горіхом волоським відзначався найвищою варіабельністю та контрастністю реакцій (SD = 0,328; діапазон NRI = 1,210). Описані результати свідчать про селективний характер алелопатичної дії ґрунтів різних агроекосистем і підтверджують ефективність використання комплексу тест-культур для оцінювання алелопатичної активності ґрунтового середовища.

Ключові слова: *алелопатія, агроекосистеми, біотестування, морфометрія проростків, Response Index, тест-культури.*

Вступ. Формування продуктивних агроекосистем значною мірою залежить від успішного проростання насіння та раннього розвитку рослин. Початкові етапи росту визначають подальшу конкурентоспроможність культур, їхню здатність ефективно використовувати ресурси середовища та формувати стабільні рослинні угруповання. Морфометричні показники проростків, зокрема довжина кореня та пагона, широко використовуються як індикатори фізіологічного стану рослин і їхнього адаптивного потенціалу на ранніх етапах розвитку [1, 2, 3]. Ці параметри відображають інтенсивність ростових процесів і дозволяють оцінювати реакцію рослин на різні фактори середовища.

Одним із ключових компонентів агроекосистеми, що визначає умови проростання та початкового розвитку рослин, є ґрунт, який виконує функцію не лише фізичного субстрату, а й складного біогеохімічного середовища, у якому відбуваються трансформації органічних речовин, накопичення біологічно активних сполук і взаємодія мікробних угруповань [4, 5]. Хімічний склад ґрунтового середовища, наявність органічних залишків та активність ґрунтової біоти можуть суттєво впливати на проростання насіння та ріст проростків.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Важливим екологічним механізмом взаємодії рослин у ґрунтовому середовищі є алелопатія. Алелопатичні речовини, що виділяються рослинами або утворюються під час розкладання рослинних решток, здатні впливати на проростання насіння, ріст проростків та конкурентні взаємодії між видами [6, 7, 8]. У природних і аграрних екосистемах алелохімічні сполуки можуть накопичуватися у ґрунті та проявляти як інгібувальний, так і стимулювальний вплив на рослини. Відомо, що деякі види формують специфічні алелопатичні умови у ґрунті. Наприклад, деревні насадження волоського горіха (*Juglans regia*) здатні виділяти юглон – біологічно активну речовину, яка пригнічує проростання та ріст багатьох видів рослин [9, 10]. Подібні ефекти можуть формуватися також у трав’янистих агроекосистемах

унаслідок накопичення вторинних метаболітів та продуктів розкладання рослинної біомаси [11].

Для оцінки алелопатичної активності ґрунтів широко застосовуються лабораторні біотести проростання насіння. Вони дозволяють кількісно оцінити реакцію рослин на вплив алелохімічних речовин, що містяться у ґрунтовому середовищі [12, 13, 14]. У біотестах найбільш інформативними показниками вважаються морфометричні параметри проростків, насамперед довжина кореня та пагона, які характеризують інтенсивність росту рослин на ранніх етапах онтогенезу. Реакція різних видів рослин на алелопатичний вплив може суттєво відрізнятися, що зумовлює доцільність використання комплексу тест-культур із різними морфофункціональними характеристиками [15, 16].

Застосування широкого набору тест-культур дозволяє виявити селективний характер алелопатичного впливу ґрунтового середовища, коли одні види рослин демонструють пригнічення росту, тоді як інші залишаються толерантними або реагують стимуляцією розвитку [17, 18]. Такий підхід підвищує інформативність біотестування та дозволяє повніше оцінити екологічні особливості різних агроекосистем.

Незважаючи на значну кількість досліджень алелопатії, порівняльна оцінка алелопатичної активності ґрунтів різних агроекосистем за реакцією широкого комплексу тест-культур залишається недостатньо вивченою. Особливо актуальним є дослідження селективного впливу ґрунтового середовища на ранній розвиток рослин за морфометричними показниками проростків [19, 20].

Припускається, що ґрунти різних агроекосистем відрізняються за алелопатичною активністю, а деревні насадження (абрикос, горіх волоський) виявлятимуть більш виражений інгібувальний вплив на проростання тест-культур порівняно з трав’янистими угрупованнями (ехінацея, переліг) внаслідок специфічного накопичення вторинних метаболітів у ґрунтовому середовищі. Водночас передбачається, що алелопатичні ефекти матимуть виражений видоспецифічний характер, а вплив конкретних агроекосистем може виявитися відмінним від очікуваного у зв’язку із взаємодією багатьох ґрунтових факторів [21].

Метою дослідження є порівняльна оцінка алелопатичної активності ґрунтів різних агроекосистем за морфометричними показниками проростків 16 тест-культур.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження алелопатичної активності ґрунтів проводили на чорноземі типовому середньогумусному середньосуглинковому на лесі на території Лівобережного Лісостепу України (Миргородський район, Полтавська область). Уміст гумусу – 3,47 %, гідролітична кислотність – 1,10 мг-екв/100 г ґрунту, легкогідролзований азот – 61,6 мг/кг сухого ґрунту, рухомий фосфор – 313,5 мг/кг, обмінний калій – 145,2 мг/кг. Ґрунтові зразки відбирали у межах чотирьох агроекосистем: насадження абрикоса (*Prunus armeniaca*), насадження горіха волоського (*Juglans regia L.*), плантації ехінацеї пурпурової (*Echinacea purpurea*) та перелогу

(різнотрав'я). Як контрольний субстрат використовували абіотичний субстрат – промитий кварцовий пісок.

Дослідження проводили за схемою повністю рандомізованого дизайну. Експериментальна матриця включала 16 тест-культур та 5 варіантів субстрату (4 агроекосистеми та контроль). Для кожної комбінації «тест-культура × субстрат» закладали 4 повторення, у кожному з яких висівали по 25 насінин. Загалом у експерименті було проаналізовано 16 000 морфометричних вимірювань проростків (8 000 для кореня та 8 000 для пагона).

У дослідженні використовували насіння 16 тест-культур, що належать до різних ботанічних родин: *Fabaceae* (горох посівний – *Pisum sativum*, люпин багатолистий – *Lupinus polyphyllus*), *Brassicaceae (*редька посівна – *Raphanus sativus,* гірчиця біла – *Sinapis alba,* хріниця посівна – *Lepidium sativum), Poaceae (*кукурудза – *Zea mays,* пшениця м'яка озима – *Triticum aestivum), Amaryllidaceae (*цибуля піщана – *Allium scorodoprasum,* цибуля-батун – *Allium fistulosum), Amaranthaceae (*буряк звичайний – *Beta vulgaris,* амарант – *Amaranthus spinosus), Cucurbitaceae (*гарбуз звичайний – *Cucurbita pepo), Lamiaceae (*базилік – *Ocimum basilicum), Apiaceae (*кріп – *Anethum graveolens), Polygonaceae (*гречка звичайна – *Fagopyrum esculentum), Asteraceae (*соняшник звичайний – *Helianthus annuus).*

Якість насіння та показники його схожості визначали відповідно до міжнародних методик International Seed Testing Association.

Алелопатичну активність ґрунтів визначали за допомогою лабораторного біотесту проростання насіння. Насіння тест-культур пророщували у відповідних ґрунтових субстратах у контрольованих лабораторних умовах. Для кожної тест-культури визначали такі морфометричні показники проростків: схожість насіння (GER), довжину кореня (ROOT), довжину пагона (SHOOT) та загальну довжину проростка (TSL).

Алелопатичний ефект оцінювали за нормалізованим індексом відповіді (Normalized Response Index, NRI) за методом Williamson & Richardson:

$$NRI = (T - C)/(T + C),$$

де T – значення показника у досліджуваному варіанті, C – значення показника у контрольному варіанті. Діапазон індексу становить від -1 (повне пригнічення) до +1 (максимальна стимуляція). Додатні значення NRI свідчать про стимуляцію росту проростків, від'ємні – про пригнічення.

Первинні експериментальні дані реєструвалися у електронних таблицях Microsoft Excel 2021. Розрахунок індексів NRI, статистичний аналіз узагальнення результатів – у середовищі R 4.5.2. Для порівняння алелопатичної активності ґрунтів між агроекосистемами використовували двофакторний дисперсійний аналіз (two-way ANOVA) з факторами «агроекосистема» (4 рівні) та «тест-культура» (16 рівнів). Контрольний варіант (пісок) до аналізу не включали, оскільки значення NRI розраховували відносно контролю. Нормальність розподілів перевіряли за критерієм Шапіро-Уілка, однорідність дисперсій – за критерієм Левеня. Для попарного порівняння агроекосистем використовували тест HIP_{05} (LSD). Візуалізацію результатів здійснювали за допомогою теплової

карти з ієрархічною кластеризацією та графічного відображення спектра чутливості досліджуваних видів.

Результати досліджень. Морфометричні показники проростків демонстрували значну міжвидову варіабельність (табл. 1), що відображає різні стратегії раннього росту рослин і потенційно зумовлює відмінності у сприйнятливості до алелопатичних впливів ґрунтового середовища [22]. Схожість насіння (GER) варіювала в межах 30-100 %, тобто більш ніж утричі між крайніми значеннями. Найвищу схожість продемонструвала пшениця (100 %), тоді як мінімальні значення спостерігалися у базиліка та цибулі піщаної (по 30 %). Довжина кореня (ROOT) змінювалася більш ніж у 16 разів – від 0,80 см у базиліка до 12,81 см у гороху. Загальна довжина проростка (TSL) варіювала від 1,76 до 25,98 см, тобто майже у 15 разів.

Алелопатична реакція тест-культур у ґрунтах досліджуваних агроекосистем істотно відрізнялася як за видовою належністю, так і за типом агроекосистеми (табл. 2). У більшості випадків спостерігалося пригнічення росту проростків порівняно з контролем, що свідчить про виражену алелопатичну активність досліджених ґрунтів.

Таблиця 1.

Морфометричні показники проростків тест-культур у алелопатичному біотесті

Тест-культура	GER, %	ROOT, см	SHOOT, см	TSL, см
Горох	89,0 ± 1,9	12,81 ± 0,25	8,47 ± 0,18	21,28 ± 0,27
Пшениця	100,0 ± 0,00	9,71 ± 0,11	16,27 ± 0,15	25,98 ± 0,24
Соняшник	83,0 ± 1,0	6,28 ± 0,04	10,36 ± 0,07	16,64 ± 0,07
Редиска	97,0 ± 1,9	7,21 ± 0,05	9,30 ± 0,05	16,51 ± 0,07
Кукурудза	90,0 ± 2,6	9,69 ± 0,38	4,20 ± 0,03	13,89 ± 0,38
Гречка	63,0 ± 1,0	3,74 ± 0,04	8,89 ± 0,09	12,63 ± 0,12
Кріп	97,0 ± 1,0	4,84 ± 0,06	7,95 ± 0,08	12,80 ± 0,12
Гарбуз	39,0 ± 6,4	4,34 ± 0,72	4,40 ± 1,24	8,74 ± 1,93
Хрінниця	86,0 ± 3,5	3,48 ± 0,02	4,44 ± 0,01	7,92 ± 0,02
Гірчиця	57,0 ± 3,8	3,53 ± 0,06	3,58 ± 0,05	7,11 ± 0,11
Буряк	76,0 ± 6,3	2,46 ± 0,24	3,12 ± 0,24	5,59 ± 0,14
Цибуля піщана	50,0 ± 3,8	1,85 ± 0,13	3,50 ± 0,24	5,35 ± 0,35
Люпин	58,0 ± 11,6	4,05 ± 0,77	1,14 ± 0,25	5,19 ± 1,02
Амарант	80,0 ± 1,6	1,78 ± 0,05	2,81 ± 0,04	4,59 ± 0,05
Цибуля-батун	30,0 ± 2,6	1,44 ± 0,02	1,50 ± 0,01	2,95 ± 0,02
Базилік	30,0 ± 3,5	0,80 ± 0,06	0,96 ± 0,08	1,76 ± 0,14

Примітка: M ± SE – середнє значення ± стандартна помилка; GER – схожість насіння; ROOT – довжина кореня; SHOOT – довжина пагона; TSL – загальна довжина проростка.

Найбільшу чутливість до алелопатичних факторів ґрунтового середовища продемонстрували буряк (середній NRI = -0,438), кріп (-0,212), люпин багаторічний (-0,206) та гарбуз (-0,174). Особливо виражений інгібувальний ефект щодо гарбуза зафіксовано у ґрунті під горіхом волоським (NRI = -0,661) – найнижче значення у всій матриці даних, що може свідчити про специфічну

чутливість гарбуза до юглону та інших алелохімічних сполук цієї агроекосистеми [23]. Виражене пригнічення буряка спостерігалося в усіх чотирьох агроекосистемах (NRI від -0,530 до -0,334), що вказує на його стабільно високу чутливість незалежно від типу ґрунту.

Натомість гірчиця біла (середній NRI = +0,402), цибуля піщана (+0,365), цибуля-шніт (+0,297) та базилік (+0,324) демонстрували стійку стимуляцію росту в усіх агроекосистемах. Це свідчить про їх толерантність або навіть позитивну відповідь на алелохімічне середовище досліджених ґрунтів [24].

Аналіз реакцій за агроекосистемами виявив відмінності у характері їхнього впливу. Ґрунт під ехінацеєю пурпуровою найчастіше чинив інгібувальний ефект, так, із 16 тест-культур 10 продемонстрували від'ємні значення NRI. Ґрунт перелогу, навпаки, переважно стимулював ріст проростків – позитивні значення NRI зафіксовані для 11 тест-культур. Ґрунт під горіхом волоським характеризувався найбільш контрастними реакціями: поряд із найсильнішим пригніченням гарбуза (-0,661) тут зафіксовано і найвищу стимуляцію цибулі піщаної (+0,549) та гірчиці білої (+0,522). Така полярність реакцій свідчить про виражений селективний характер алелопатичного впливу цієї агроекосистеми [25].

Таблиця 2.

Алелопатична реакція тест-культур у ґрунтах різних агроекосистем за індексом NRI

Тест-культура	Абрикос	Горіх волоський	Ехінацея пурпурова	Переліг, різнотрав'я	Середній
Горох	-0,150	-0,145	-0,147	0,156	-0,071
Пшениця	0,009	-0,071	-0,225	-0,116	-0,101
Соняшник	-0,169	-0,144	-0,217	0,133	-0,099
Редиска	-0,123	0,051	-0,177	0,047	-0,050
Кукурудза	-0,112	-0,070	0,171	0,092	0,020
Гречка	0,222	-0,138	0,017	0,261	0,090
Кріп	-0,136	-0,260	-0,260	-0,193	-0,212
Гарбуз	-0,080	-0,661	-0,206	0,252	-0,174
Хрінниця	0,217	0,146	-0,121	0,175	0,104
Гірчиця	0,465	0,522	0,202	0,419	0,402
Буряк	-0,530	-0,469	-0,334	-0,420	-0,438
Цибуля піщана	0,495	0,549	0,076	0,339	0,365
Люпин	-0,209	-0,290	-0,462	0,137	-0,206
Амарант	0,152	-0,042	-0,321	0,335	0,031
Цибуля-батун	0,246	0,252	0,407	0,283	0,297
Базилік	0,595	0,292	0,227	0,181	0,324

Примітка: NRI – нормалізований індекс алелопатичного ефекту (Normalized Response Index). Додатні значення NRI свідчать про стимуляцію росту проростків, від'ємні – про його пригнічення; NRI = 0 відповідає контролю.

Показовим є також аналіз культур із контрастною реакцією між агроекосистемами. Гречка демонструвала стимуляцію під абрикосом (+0,222) і

перелогом (+0,261), але інгібування під горіхом (-0,138). Кукурудза реагувала стимуляцією під ехінацеєю (+0,171) та перелогом (+0,092), але пригніченням під абрикосом (-0,112) та горіхом (-0,070). Це підтверджує, що алелопатичний ефект ґрунтів є видоспецифічним і не може бути охарактеризований єдиним показником без урахування типу тест-культури [22, 26].

Для наочнішої інтерпретації алелопатичних реакцій тест-культур матрицю значень NRI було візуалізовано у вигляді теплової карти з ієрархічною кластеризацією (рис. 1). Теплова карта дозволила виявити групи тест-культур із подібною реакцією на алелопатичні чинники ґрунту. Найбільш виражений інгібувальний ефект спостерігався у ґрунті під ехінацеєю пурпуровою.

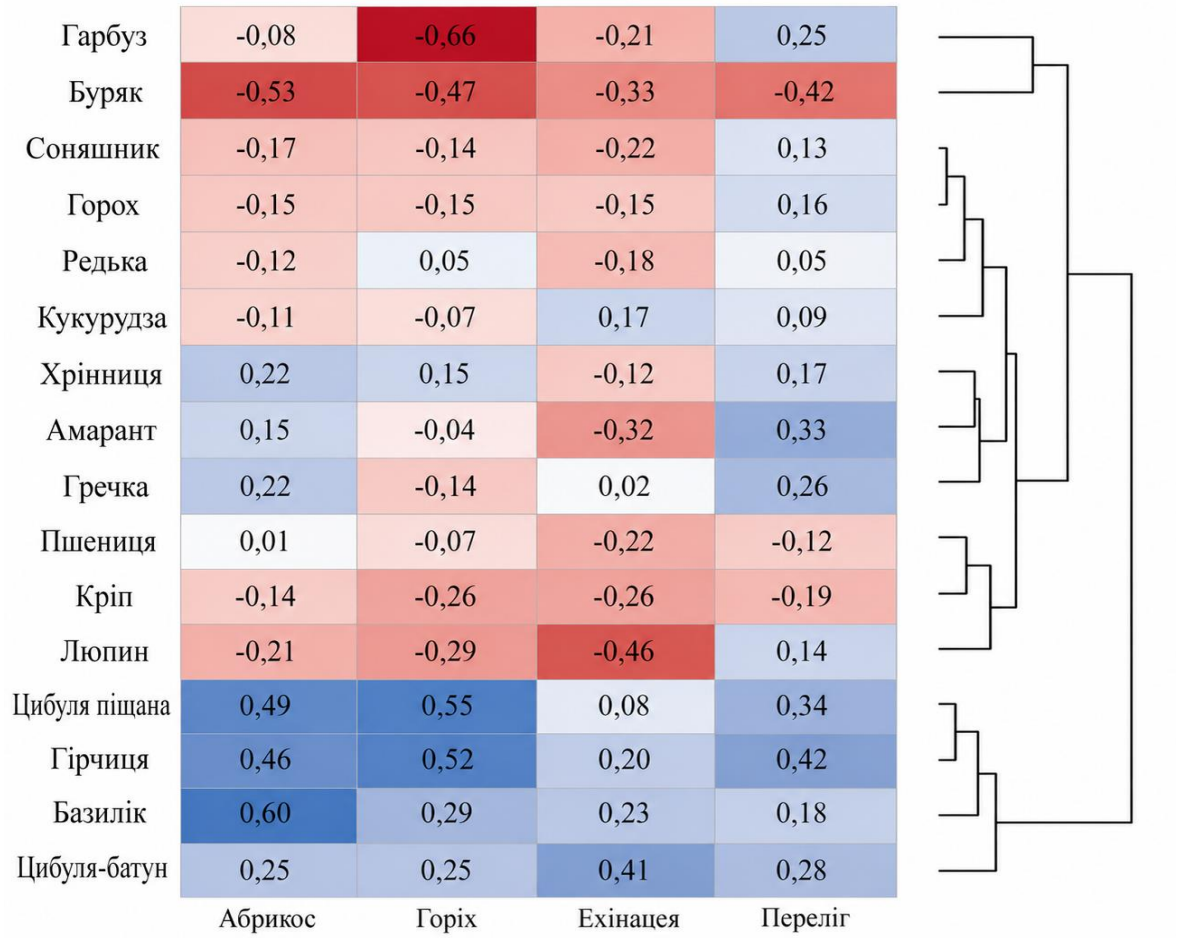


Рис. 1. Теплова карта алелопатичної реакції тест-культур у ґрунтах різних агроекосистем за індексом NRI

Примітка: NRI – індекс алелопатичної реакції. Додатні значення (сині відтінки) відображають стимуляцію росту проростків, від'ємні (червоні) – пригнічення. Дендрограма відображає подібність реакцій тест-культур за результатами ієрархічної кластеризації.

Порівняння алелопатичної активності агроекосистем за інтегральними показниками (табл. 3) підтвердило висновки, отримані при аналізі таблиці 2. Ґрунт під ехінацеєю пурпуровою характеризувався найнижчим середнім NRI (-0,086), тоді як переліг – найвищим (+0,130). Усі чотири агроекосистеми

утворили окремі статистичні групи (a, b, c, d) за результатами тесту HIP_{05} (LSD = 0,041), що свідчить про достовірну відмінність між кожною парою агроекосистем.

Важливо зазначити, що 95 % довірчі інтервали для абрикоса (-0,023; 0,135) та горіха волоського (-0,113; 0,053) включають нуль. Це свідчить, що середній ефект цих агроекосистем статистично не відрізняється від контрольного рівня, хоча щодо окремих тест-культур вони справляють достовірний вплив. Натомість достовірчий інтервал (ДІ) ехінацеї (-0,151; -0,020) та перелогу (0,073; 0,187) не перетинають нуль, що підтверджує статистично значущий напрямлений ефект цих агроекосистем на проростання тест-культур.

Щодо показника варіабельності, найбільший діапазон NRI зафіксовано для горіха волоського (1,210 при SD = 0,328), що більш ніж удвічі перевищує аналогічний показник перелогу (0,839 при SD = 0,217). Це відображає не стільки загальну силу алелопатичного впливу, скільки його вибірковість: ґрунт під горіхом волоським одночасно є одним із найсильніших інгібіторів для одних тест-культур і стимулятором для інших, що, ймовірно, пов’язано зі специфічним складом алелохімічних сполук цієї агроекосистеми, зокрема юглону [9, 27].

Таблиця 3.

Алелопатична активність ґрунтів різних агроекосистем за значеннями нормалізованого індексу NRI та результатами статистичного аналізу

Агроекосистема	Середній NRI	SE	95% ДІ	SD	Діапазон NRI	Група
Ехінацея пурпурова	-0,086	0,033	(-0,151; -0,020)	0,242	0,869	d
Горіх волоський	-0,030	0,042	(-0,113; 0,053)	0,328	1,210	c
Абрикос	0,056	0,040	(-0,023; 0,135)	0,303	1,125	b
Переліг, різнотрав’я	0,130	0,028	(0,073; 0,187)	0,217	0,839	a
Пісок (контроль)*	-0,006	0,013	–	0,013	0,042	–
HIP_{05}	0,041					

Примітка: Середній NRI – середнє значення індексу для 16 тест-культур; SE – стандартна помилка середнього; 95 % ДІ – довірчий інтервал; SD – стандартне відхилення; Діапазон NRI – різниця між максимальним та мінімальним значенням NRI. Різні літери у стовпці «Група» позначають статистично значущі відмінності між агроекосистемами (двофакторний ANOVA, тест HIP_{05}, $p < 0,05$). *Контроль до статистичного аналізу не включався; наведене значення NRI для контролю є технічним артефактом, обумовленим незначною варіацією всередині повторень контрольного варіанту (теоретично NRI контролю = 0).

Двофакторний дисперсійний аналіз виявив статистично значущий вплив агроекосистеми ($F_{3,192}$= 41,71, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,076$), тест-культури ($F_{15,192} = 64,87$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,593$) та їх взаємодії ($F_{45,192} = 7,79$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,214$) на значення NRI. Оцінка величини ефекту (η^2) свідчить про відносний внесок кожного фактора у загальну варіацію показника. Найбільшу частку варіації пояснює фактор «тест-культура» ($\eta^2 = 0,593$), що підтверджує визначальну роль видових особливостей рослин у формуванні алелопатичної відповіді. Вплив

агроекосистеми є значно меншим (η^2 = 0,076), однак статистично достовірним і екологічно релевантним. Водночас суттєва величина ефекту взаємодії (η^2 = 0,214) вказує на те, що реакція проростків на алелопатичний вплив значною мірою залежить від конкретної комбінації «тест-культура × агроекосистема», тобто має виражений селективний характер.

Отримані результати лише частково підтверджують первинну гіпотезу щодо більш вираженого інгібувального ефекту деревних насаджень порівняно з трав'янистими угрупованнями. Зокрема, на рівні середніх значень найсильніший інгібувальний ефект зафіксовано у ґрунті під ехінацеєю пурпуровою (NRI = -0,086), тоді як ґрунт під горіхом волоським характеризувався не стільки односпрямованим пригніченням, скільки найбільшою варіабельністю реакцій тест-культур (SD = 0,328). Це свідчить про те, що тип рослинного покриву не може розглядатися як достатній предиктор ні напряму, ні сили алелопатичного впливу, а сам ефект формується внаслідок складної взаємодії видових особливостей рослин та специфіки алелохімічного середовища ґрунту [28, 29].

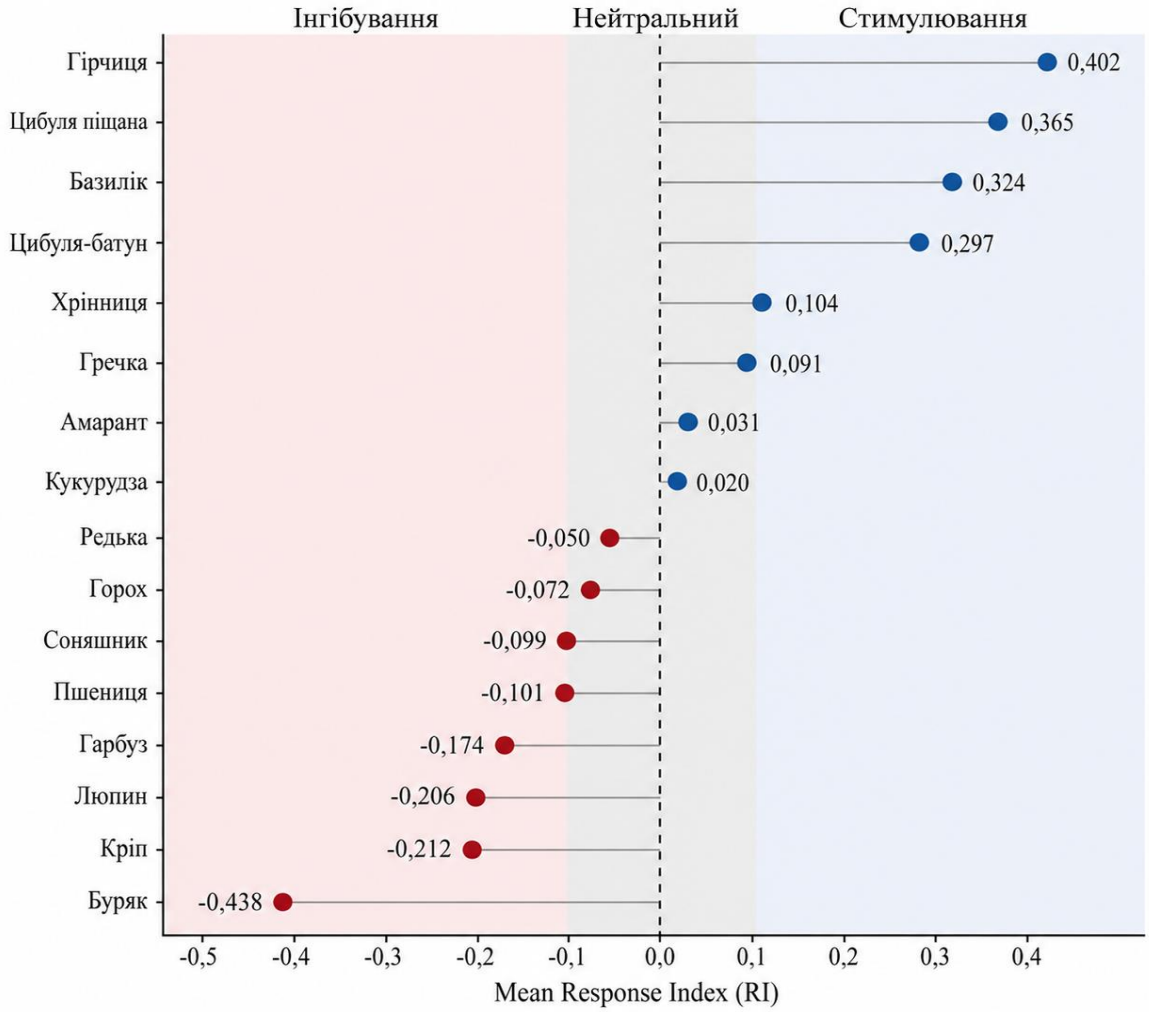


Рис. 1. Спектр чутливості тест-культур до алелопатичного впливу ґрунтів різних агроекосистем за середнім значенням NRI

Примітка: Mean RI – середнє значення для тест-культур. Додатні значення RI відповідають стимуляції росту проростків, від'ємні – пригніченню.

Отримані результати підтверджують доцільність використання широкого набору тест-культур із різними морфофункціональними характеристиками для оцінки алелопатичної активності ґрунтів. Високий внесок фактора «тест-культура» у загальну варіацію показника ($\eta^2 = 0,593$), а також значуща взаємодія «тест-культура × агроекосистема» ($\eta^2 = 0,214$) свідчать про виражену видоспецифічність і селективність алелопатичних ефектів. За таких умов використання окремої тест-культури не дозволяє адекватно відобразити повний спектр реакцій рослин на алелохімічне середовище, що узгоджується з даними попередніх досліджень [12, 15, 16].

Аналіз середніх значень NRI дозволив визначити спектр реакцій тест-культур на алелопатичний вплив ґрунтів (рис. 2). Досліджувані види формують градієнт реакцій від вираженого пригнічення росту проростків до стимуляції, що свідчить про суттєву міжвидову диференціацію їхньої сприйнятливості до алелопатичних факторів.

Загалом отримані результати підтверджують селективний характер алелопатичної дії ґрунтів різних агроекосистем і свідчать про виражену видоспецифічність реакції тест-культур, що узгоджується з даними інших досліджень [30, 31].

Висновки. Морфометричні показники проростків тест-культур характеризуються значною міжвидовою варіабельністю (TSL від 1,76 до 25,98 см), що відображає різні стратегії раннього росту рослин і формує широкий функціональний градієнт їхньої потенційної чутливості до алелопатичних факторів ґрунтового середовища.

Двофакторний дисперсійний аналіз підтвердив достовірний вплив агроекосистеми ($F_{3,192} = 41,71$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,076$), тест-культури ($F_{15,192} = 64,87$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,593$) та їх взаємодії ($F_{45,192} = 7,79$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,214$) на значення NRI. Домінуючим фактором варіації є тест-культура, що підтверджує виражений видоспецифічний характер алелопатичних реакцій. Початкова гіпотеза про більш виражений інгібувальний ефект деревних насаджень порівняно з трав'янистими угрупованнями підтвердилася лише частково, що свідчить про необхідність урахування специфічного складу алелохімікатів кожної агроекосистеми.

Серед досліджуваних агроекосистем найбільш виражений інгібувальний ефект виявлено у ґрунті під ехінацеєю пурпуровою (NRI = -0,086, група d), тоді як ґрунти перелогу проявляли переважно стимулювальний вплив (NRI = 0,130, група a). За результатами тесту HIP_{05} всі чотири агроекосистеми достовірно відрізнялися одна від одної.

Найбільша варіабельність реакцій тест-культур зафіксована у ґрунті під горіхом волоським (SD = 0,328, діапазон NRI = 1,210), що свідчить про контрастний і селективний характер алелопатичного впливу цієї

агроекосистеми.

Використання комплексу тест-культур із різними морфофункціональними характеристиками підвищує інформативність алелопатичного біотесту та дозволяє повніше оцінювати алелопатичну активність ґрунтів різних агроекосистем. Перспективою подальших досліджень є ідентифікація конкретних алелохімічних сполук у ґрунтах досліджуваних агроекосистем та встановлення їх зв'язку з виявленими ефектами.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Список використаної літератури

1. Finch-Savage W. E., Bassel G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*. 2016. Vol. 67, № 3. P. 567–591. https://doi.org/10.1093/jxb/erv490.
2. Reed R. C., Bradford K.J., Khanday I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity (Edinb)*. 2022. Vol. 128, Is. 6. P. 450–459. https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2.
3. Gu J., Chao H., Gan L., Guo L., Zhang K., Li Y., Wang H., Raboanatahiry N., Li M. Proteomic dissection of seed germination and seedling establishment in Brassica napus. Frontiers in *Plant Science*. 2016. Vol. 7. Article 1482. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01482.
4. Van der Heijden M. G. A., Bardgett R. D., van Straalen N. M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*. 2008. Vol. 11, Is. 3. P. 296–310. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x.
5. C. Wagg S. F. Bender F. Widmer, van der Heijden M. G. A. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2014. Vol. 111, Is. 14. P. 5266–5270. https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111.
6. Chou C. H. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 1999. Vol. 18, Is. 5. P. 609–636. https://doi.org/10.1080/07352689991309414.
7. Bertholdsson N.-O. Allelopathy – A Tool to Improve the Weed Competitive Ability of Wheat with Herbicide-Resistant Black-Grass (Alopecurus myosuroides Huds.). *Agronomy*. 2012. Vol. 2, Is. 4. P. 284–294. https://doi.org/10.3390/agronomy2040284.
8. Inderjit S., Duke S. O. Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta*. 2003. Vol. 217, Is. 4. P. 529–539. https://doi.org/10.1007/s00425-003-1054-z.
9. Willis R. J. *The history of allelopathy*. Dordrecht: Springer, 2007. 316 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4093-1.
10. Jose S., Gillespie A. R. Allelopathy in black walnut (Juglans nigra L.) alley cropping. I. Spatio-temporal variation in soil juglone in a black walnut–corn (Zea maysL.) alley cropping system in the midwestern USA. *Plant and Soil*. 1998. Vol. 203. P. 191–197. https://doi.org/10.1023/A:1004301309997.
11. Wang C., Liu Z., Wang Z., Pang W., Zhang L., Wen Z., Zhao Y., Sun J., Wang Z.-Y., Yang C. Effects of autotoxicity and allelopathy on seed germination and seedling growth in Medicago truncatula. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article 908426. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.908426.
12. Kruse M., Strandberg M., Strandberg B. *Ecological Effects of Allelopathic Plants: A Review. NERI Technical Report No. 315*. Silkeborg: National Environmental Research Institute, 2000. 66 p. https://www2.dmu.dk/1_viden/2_publikationer/3_fagrapporter/rapporter/fr315.pdf.
13. Macias F. A., Marin D., Oliveros-Bastidas A., Varela R. M., Simonet A. M., Carrera C.,

Molinillo J. M. G. Allelopathy as a new strategy for sustainable ecosystems development. *Biological Sciences in Space*. 2003. Vol. 17, Is. 1. P. 18–23. https://doi.org/10.2187/bss.17.18.
14. Scavo A., Abbate C., Mauromicale G. Plant allelochemicals: agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant and Soil*. 2019. Vol. 442. P. 23–48. https://doi.org/10.1007/s11104-019-04190-y.
15. Williamson G. B., Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls. *Journal of Chemical Ecology*. 1988. Vol. 14, Is. 1. P. 181–187. https://doi.org/10.1007/BF01022540.
16. Ahmed Hiwa M., Amiri-Ardekani E., Ebadi S. Phytotoxicity of Natural Molecules Derived from Cereal Crops as a Means to Increase Yield Productivity. *International Journal of Agronomy*. 2022, Vol. 2022, Is. 1. Article 4223853. https://doi.org/10.1155/2022/4223853.
17. VanVolkenburg H., Guinel F. C., Vasseur L. Impacts of Smooth Pigweed (Amaranthus hybridus) on Cover Crops in Southern Ontario. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Is. 4. Article 529. https://doi.org/10.3390/agronomy10040529.
18. Al-Andal A., Radwan A. M., Donia A. E., Balah M. A. Allelopathic pathways and impacts of Chenopodium species via leachates, decaying residues, and essential oils. *PLOS One.* 2025. Vol. 20. Article e0321782. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0321782.
19. Singh H. P., Batish D. R., Kohli R. K. Allelopathy in Agroecosystems. *Journal of Crop Production*. 2001. Vol. 4, Is. 2. P. 1–41. https://doi.org/10.1201/9781003578253.
20. Uddin M. N., Asaeda T., Shampa S. H., Robinson R. W. Allelopathy and its coevolutionary implications between native and non-native neighbors of invasive Cynara cardunculus L. *Ecology and Evolution.* 2020. Vol. 10. P. 7463–7475. https://doi.org/10.1002/ece3.6472.
21. Lebedev V. G., Krutovsky K. V., Shestibratov K. A. … Fell Upas Sits, the Hydra-Tree of Death †, or the Phytotoxicity of Trees. *Molecules*. 2019. Vol. 24, Is. 8. Article 1636. https://doi.org/10.3390/molecules24081636.
22. Wang X., Cao Y., Jin Y., Sun L., Tang F., & Dong L. Ecophysiological Trade-Off Strategies of Three Gramineous Crops in Response to Root Extracts of *Phytolacca americana*. *Plants*. 2024. Vol. 13, Is. 21. Article 3026. https://doi.org/10.3390/plants13213026.
23. Zubay P., Kunzelmann J., Ittzés A., Németh Zámboriné É., Szabó K. Allelopathic effects of leachates of Juglans regia L., Populus tremula L. and juglone on germination of temperate zone cultivated medicinal and aromatic plants. *Agroforestry Systems*. 2021. Vol. 95. P. 431–442. https://doi.org/10.1007/s10457-020-00572-9.
24. Menalled U. D., Seipel T. F., Menalled F. D. Farming system effects on biologically mediated plant-soil feedbacks. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2020. Vol. 36, Is. 1. P. 1–7. https://doi.org/10.1017/S1742170519000528.
25. Zhang X., Liu Z., Tian N., Chen K., Luc N. T. Allellopathic impacts of leaf litters decomposition from intercrop tree species on soybean. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2015. Vol. 7. Is. 12. P. 971–976. https://doi.org/10.19026/ajfst.7.2545.
26. Koyama A., Dias T., Antunes P. M. Application of plant–soil feedbacks in the selection of crop rotation sequences. *Ecological Applications.* 2021. Vol. 32, Is. 2. Article e2501. https://doi.org/10.1002/eap.2501.
27. Achatz M., Morris E. K., Müller F., Hilker M., Rillig M. C. Soil hypha-mediated movement of allelochemicals: arbuscular mycorrhizae extend the bioactive zone of juglone. *Functional Ecology*. 2014. Vol. 28, Is. 4. P. 1020–1029. https://doi.org/10.1111/1365-2435.12208.
29. Mahé I., Chauvel B., Colbach N., Cordeau S., Gfeller A. É., Reiss A., Moreau D. Deciphering field-based evidences for crop allelopathy in weed regulation. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2022. Vol. 42. Article 50. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00749-1.
29. Li Y., Allen V. G., Chen J., Wester D. B. Allelopathic Trade-Offs of Rye and Wheat Residues Versus 2-Benzoxazolinone: Impacts on Cotton Growth. *Biology*. 2025. Vol. 14, Is. 10. Article 1321. https://doi.org/10.3390/biology14101321.

30. Aguiar M., Conway A. J., Bell J. K., Stewart K. J. Agroecosystem edge effects on vegetation, soil properties, and the soil microbial community in the Canadian prairie. *PLoS One*. 2023. Vol. 18, Is. 4. Article e0283832. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283832.
31. Țopa D.-C., Căpșună S., Calistru A.-E., Ailincăi C. Sustainable practices for enhancing soil health and crop quality in modern agriculture: a review. *Agriculture*. 2025. Vol. 15, Is. 9. Article 998. https://doi.org/10.3390/agriculture15090998.

Yuriy Sotnykov,
PhD, assoc. prof., assoc. prof. of the Department of Information Technologies, Cybernetics and Information Protection
State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-1032-9283
email: yesaul.halt@knau.kharkov.ua

Serhii Rieznik,
PhD, lecturer of the Department of Soil Science
State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-2703-1021
email: serhey021@gmail.com

Dmytro Havva,
PhD, assoc. prof., assoc. prof. of the Department of Soil Science
State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0001-6516-7846
email: pochvoved@ukr.net

Yurii Dehtiarov,
PhD, assoc. prof., assoc. prof. of the Department of Soil Science
State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-1200-2364
email: degt7@ukr.net

COMPARATIVE EVALUATION OF SOIL ALLELOPATHIC ACTIVITY IN DIFFERENT AGROECOSYSTEMS USING SEEDLING MORPHOMETRIC TRAITS OF 16 TEST SPECIES

The results of a comparative assessment of the allelopathic activity of soils from different agroecosystems based on morphometric characteristics of seedlings of 16 test plant species are presented. The relevance of the study is determined by the crucial role of early ontogenetic stages in the development of plant competitiveness, as well as by the importance of soil as a complex biogeochemical environment capable of accumulating and transforming allelochemical compounds.

The study was conducted using laboratory bioassays on a typical medium-humus, medium-loamy Chernozem from the Poltava region of Ukraine. Soil samples were collected from four agroecosystems: apricot (Prunus armeniaca) plantations, walnut (Juglans regia L.) plantations, a purple coneflower (Echinacea purpurea) plantation, and a fallow area dominated by mixed herbaceous vegetation. Quartz sand served as the control substrate. Plant responses were evaluated using seed germination, root length, shoot length, and total seedling length. In total, 16 000 morphometric measurements were analyzed. Allelopathic effects were quantified using the normalized Response Index (NRI) according to the method proposed by Williamson and Richardson.

Considerable interspecific variability in the initial morphometric characteristics of seedlings was observed. The allelopathic responses of the test species were highly species-specific and selective. The most sensitive species to inhibitory effects were beetroot (mean NRI = -0.438), dill (-0.212), lupine (-0.206), and pumpkin (-0.174). Consistent growth stimulation across all substrate treatments was recorded for white mustard (+0.402), sand onion (+0.365), basil (+0.324), and Welsh onion (+0.297).

Among the investigated agroecosystems, the strongest inhibitory effect was detected in soil collected from the purple coneflower plantation (mean NRI = -0.086), which suppressed 10 of the 16 test species. In contrast, soil from the fallow ecosystem exhibited predominantly stimulatory effects (mean NRI = +0.130), with positive NRI values recorded for 11 species. Soil under walnut plantations showed the highest variability and contrast in plant responses (SD = 0.328; NRI range = 1.210). The obtained results indicate the selective nature of the allelopathic effects exerted by soils of different agroecosystems and confirm the effectiveness of using a set of test species for assessing the allelopathic activity of the soil environment.

Keywords: *allelopathy, agroecosystems, bioassay, seedling morphometry, Response Index, test plant species.*

References

1. Finch-Savage, W. E., & Bassel, G. W. (2016). Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, *67*(3), 567-591. https://doi.org/10.1093/jxb/erv490.

2. Reed, R. C., Bradford, K.J., & Khanday, I. (2022). Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity (Edinb)*, *128*(6), 450-459. https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2.

3. Gu, J., Chao, H., Gan, L., Guo, L., Zhang, K., Li, Y., Wang, H., Raboanatahiry, N., & Li, M. (2016). Proteomic dissection of seed germination and seedling establishment in Brassica napus. Frontiers in *Plant Science*, *7*, 1482. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01482.

4. Van der Heijden, M. G. A., Bardgett, R. D., & van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, *11*(3), 296-310. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x.

5. C. Wagg, S. F. Bende,r F. Widmer, & van der Heijden, M. G. A. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A, 111*(14), 5266-5270. https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111.

6. Chou, C. H. (1999). Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *18*(5), 609-636. https://doi.org/10.1080/07352689991309414.

7. Bertholdsson, N.-O. (2012). Allelopathy – A Tool to Improve the Weed Competitive Ability of Wheat with Herbicide-Resistant Black-Grass (Alopecurus myosuroides Huds.). *Agronomy*, *2*(4), 284-294. https://doi.org/10.3390/agronomy2040284.

8. Inderjit, S., & Duke, S. O. (2003). Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta*, *217*(4), 529-539. https://doi.org/10.1007/s00425-003-1054-z.

9. Willis, R. J. (2007). *The history of allelopathy*. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4093-1.

10. Jose, S., & Gillespie, A. R. (1998). Allelopathy in black walnut (*Juglans nigra L.*) alley cropping. I. Spatio-temporal variation in soil juglone in a black walnut-corn (*Zea maysL.*) alley cropping system in the midwestern USA. *Plant and Soil*, *203*, 191-197. https://doi.org/10.1023/A:1004301309997.

11. Wang, C., Liu, Z., Wang, Z., Pang, W., Zhang, L., Wen, Z., Zhao, Y., Sun, J., Wang, Z.-Y., & Yang, C. (2022). Effects of autotoxicity and allelopathy on seed germination and seedling growth in Medicago truncatula. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 908426. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.908426.

12. Kruse, M., Strandberg, M., & Strandberg, B. (2000). *Ecological Effects of Allelopathic Plants: A*

Review. NERI Technical Report No. 315. Silkeborg: National Environmental Research Institute. https://www2.dmu.dk/1_viden/2_publikationer/3_fagrapporter/rapporter/fr315.pdf.
13. Macias, F. A., Marin, D., Oliveros-Bastidas, A., Varela, R. M., Simonet, A. M., Carrera, C., & Molinillo, J. M. G. Allelopathy as a new strategy for sustainable ecosystems development. *Biological Sciences in Space*, *17*(1), 18-23. https://doi.org/10.2187/bss.17.18.
14. Scavo, A., Abbate, C., & Mauromicale, G. (2019). Plant allelochemicals: agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant and Soil*, *442*, 23-48. https://doi.org/10.1007/s11104-019-04190-y.
15. Williamson, G. B., & Richardson, D. (1988). Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls. *Journal of Chemical Ecology*, *14*(1), 181-187. https://doi.org/10.1007/BF01022540.
16. Ahmed Hiwa, M., Amiri-Ardekani, E., & Ebadi, S. (2022). Phytotoxicity of Natural Molecules Derived from Cereal Crops as a Means to Increase Yield Productivity. *International Journal of Agronomy*, *2022*(1), 4223853. https://doi.org/10.1155/2022/4223853.
17. VanVolkenburg, H., Guinel, F. C., & Vasseur, L. (2020). Impacts of Smooth Pigweed (Amaranthus hybridus) on Cover Crops in Southern Ontario. *Agronomy*, *10*(4), 529. https://doi.org/10.3390/agronomy10040529.
18. Al-Andal, A., Radwan, A. M., Donia, A. E., & Balah, M. A. (2025). Allelopathic pathways and impacts of Chenopodium species via leachates, decaying residues, and essential oils. *PLOS One, 20*, e0321782. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0321782.
19. Singh, H. P., Batish, D. R., & Kohli, R. K. (2001). Allelopathy in Agroecosystems. *Journal of Crop Production*, *4*(2), 1-41. https://doi.org/10.1201/9781003578253.
20. Uddin, M. N., Asaeda, T., Shampa, S. H., & Robinson, R. W. (2020). Allelopathy and its coevolutionary implications between native and non-native neighbors of invasive Cynara cardunculus L. *Ecology and Evolution, 10*, 7463-7475. https://doi.org/10.1002/ece3.6472.
21. Lebedev, V. G., Krutovsky, K. V., & Shestibratov, K. A. (2019). … Fell Upas Sits, the Hydra-Tree of Death †, or the Phytotoxicity of Trees. *Molecules*, *24*(8), 1636. https://doi.org/10.3390/molecules24081636.
22. Wang, X., Cao, Y., Jin, Y., Sun, L., Tang, F., & Dong, L. (2024). Ecophysiological Trade-Off Strategies of Three Gramineous Crops in Response to Root Extracts of *Phytolacca americana*. *Plants*, *13*(21), 3026. https://doi.org/10.3390/plants13213026.
23. Zubay, P., Kunzelmann, J., Ittzés, A., Németh Zámboriné, É., & Szabó, K. (2021). Allelopathic effects of leachates of Juglans regia L., Populus tremula L. and juglone on germination of temperate zone cultivated medicinal and aromatic plants. *Agroforestry Systems*, *95*, 431-442. https://doi.org/10.1007/s10457-020-00572-9.
24. Menalled, U. D., Seipel, T. F., & Menalled, F. D. (2020). Farming system effects on biologically mediated plant-soil feedbacks. *Renewable Agriculture and Food Systems*, *36*(1), 1-7. https://doi.org/10.1017/S1742170519000528.
25. Zhang, X., Liu, Z., Tian, N., Chen, K., & Luc, N. T. (2015). Allellopathic impacts of leaf litters decomposition from intercrop tree species on soybean. *Advance Journal of Food Science and Technology*, *7*(12), 971-976. https://doi.org/10.19026/ajfst.7.2545.
26. Koyama, A., Dias, T., & Antunes, P. M. (2021). Application of plant–soil feedbacks in the selection of crop rotation sequences. *Ecological Applications, 32*(2), e2501. https://doi.org/10.1002/eap.2501.
27. Achatz, M., Morris, E. K., Müller, F., Hilker, M., & Rillig, M. C. (2014). Soil hypha-mediated movement of allelochemicals: arbuscular mycorrhizae extend the bioactive zone of juglone. *Functional Ecology*, *28*(4), 1020-1029. https://doi.org/10.1111/1365-2435.12208.
29. Mahé, I., Chauvel, B., Colbach N., Cordeau, S., Gfeller, A. É., Reiss, A., & Moreau, D. (2022). Deciphering field-based evidences for crop allelopathy in weed regulation. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *42*, 50. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00749-1.

29. Li, Y., Allen, V. G., Chen, J., & Wester, D. B. (2025). Allelopathic Trade-Offs of Rye and Wheat Residues Versus 2-Benzoxazolinone: Impacts on Cotton Growth. *Biology*, *14*(10), 1321. https://doi.org/10.3390/biology14101321.
30. Aguiar, M., Conway, A. J., Bell, J. K., & Stewart, K. J. (2023). Agroecosystem edge effects on vegetation, soil properties, and the soil microbial community in the Canadian prairie. *PLoS One*, *18*(4), e0283832. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283832.
31. Țopa, D.-C., Căpșună, S., Calistru, A.-E., & Ailincăi, C. (2025). Sustainable practices for enhancing soil health and crop quality in modern agriculture: a review. *Agriculture*, *15*(9), 998. https://doi.org/10.3390/agriculture15090998.

Стаття надійшла до редакції 17.07.2026
Стаття пройшла рецензування 19.07.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

УДК 633.81:631.8
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.24

Віталій Яценко,
доктор філософії з агрономії, старший викладач кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID ID 0000-0001-7686-6634
email: vitaliiyatsenko1@gmail.com

Володимир Троценко,
доктор с.-г. наук, професор, завідувач кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID ID 0000-0001-8101-0849
email: vtrotsenko@ukr.net

Оксана Лаговська,
доктор філософії з агрономії, старший викладач кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID ID 0000-0001-9610-3087
email: datsko.oksana.nikol@gmail.com

Віталій Котенко,
аспірант кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID ID 0009-0005-5229-0534
email: kotenkovitaliy@ukr.net

ДИНАМІКА БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ВРОЖАЮ *SALVIA HISPANICA* L. ЗАЛЕЖНО ВІД ФОНУ УДОБРЕННЯ

Анотація

У статті представлено результати досліджень щодо впливу різних норм мінеральних добрив на ростові процеси, фенологічний розвиток та продуктивність рослин чіа (Salvia hispaniса L.) в умовах Північно-Східного Лісостепу України у 2025 році. Експеримент включав контроль (без добрив) і чотири варіанти внесення повного мінерального живлення ($N_{15}P_{15}K_{15}$, $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{45}P_{45}K_{45}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$). Встановлено, що застосування мінеральних добрив впливає на тривалість міжфазних періодів і загальну тривалість вегетації культури, а також зумовлює збільшення висоти рослин.

Виявлено нелінійний характер впливу досліджуваних доз на генеративну сферу та продуктивність чіа. Зокрема, найбільша кількість суцвіть на рослині формувалася за внесення помірної норми $N_{15}P_{15}K_{15}$. Водночас маса 1000 насінин виявилася консервативною

генетично детермінованою ознакою і не мала статистично значущих відмінностей залежно від фону удобрення.

Найвищу загальну урожайність насіння забезпечило внесення добрив у дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$ (0,61 т/га) та на контрольному варіанті (0,58 т/га). Подальше підвищення норм агрофону ($N_{45}P_{45}K_{45}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$) призводило до депресії росту та зниження продуктивності, що підтверджує економічну та екологічну недоцільність використання надмірних норм мінеральних добрив для вирощування чіа в регіоні.

Ключові слова: *чіа, маса 1000 насінин, продуктивність, схожість, нішева культура*

Вступ. Чіа (*Salvia hispanica* L.) культура, що не є типовою для вирощування в межах України. Вона походить із території сучасної Гватемали та Мексики, тобто є мезоамериканською культурою. На відміну від інших, більш розповсюджених псевдозлакових культур (наприклад, амаранту), до недавніх пір її вирощуванню та дослідженню, зокрема у наших широтах, приділяли мало уваги [1].

Зростання інтересу до цієї культури як серед агровиробників, так і серед науковців зумовлене її високою харчовою цінністю, яку важко переоцінити. Зокрема, у дослідженні Knez Hrnčič et al., (2019) встановлено, що насіння культури містить поліненасичені та омега-3 жирні кислоти, протеїн, клітковину та інші корисні для раціону речовини [2]. Зокрема, ці компоненти є корисними для зниження артеріального тиску, холестерину, покращення роботи шлунково-кишкового тракту, що позитивно впливає на стан людського організму [3]. Не зважаючи на те, що користь чіа для організму людини вже доведена, у своєму оглядовому дослідженні Zare et al., (2024) закликають до більш детального вивчення геному культури задля збільшення наявних компонентів. Така деталізація генетичних механізмів дасть можливість оптимізувати її господарсько-біологічні показники [4].

Однак, попри популярність культури за межами нашої держави, станом на тепер в Україні вона є малодослідженою. Наразі у фахових наукових виданням, чи тих, що індексуються у науковометричних базах Scopus та Web of Science відсутні опубліковані дослідження, що проводились в межах ґрунтово-кліматичних України. Актуальність цього дослідження зумовлена необхідністю наукового обґрунтування технології вирощування чіа в умовах Північно-Східного Лісостепу України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Не зважаючи на зростаючий інтерес до цієї культури, лімітуючим фактором, що міг суттєво вплинути на розширення географії вирощування чіа, стали агрокліматичні умови України. Умови проростання насіння культури є лімітуючим фактором, що в першу чергу визначає її придатність до вирощування в тому чи іншому кліматі та впливає на строки сівби. У своєму дослідженні Salgado et al., (2022) зазначають, що оптимальний температурний режим для отримання дружних сходів в польових умовах є 20-22 °C, незважаючи на те, що насіння здатне проростати у доволі широкому температурному діапазоні (від 10 до 35 °C). Однак, автори також зазначають і те, що підвищення температури при сходах до 30 °C все ж таки

створює стресові умови для розвитку, що може спричинити невирівняність посівів [5]. Водночас експериментальні дані Rossafi et al., (2026) довели, що найбільш оптимальний температурний режим для отримання 100% схожості та найвищої енергії проростання становить 26 °C, при цьому порівнювали із трьома іншими варіантами (16, 19 та 35 °C). Іншим фактором, що також вивчався була тривалість зберігання насіння перед висівом. Для цього було обрано чотири послідовні покоління 2022-2025 рр. врожаю. Результати показали, що найшвидше проросло насіння 2025 р. збору, при цьому сходи були отримані за 1 день (за температури 26 °C). Відповідно, найнижчі показники були отримані від насіння 2022 р. збору, де сходи були отримані на 3 день, а енергія проростання знизилась до 61% [6]. Схоже дослідження по впливу температури на схожість насіння було проведене Cabrera-Santos et al., (2022). На відміну від попередніх даних вчені встановили, що найбільш придатним показником температурного режиму є 30 °C, при цьому діапазон, що вивчався був у межах від 10 до 45 °C. Варто зазначити, що температурні режими у 40 та 45 °C суттєво пригнічували процес проростання [7].

Дослідження схожості та енергії проростання насіння чіа є одним із ключових показників, що визначає здатність культури до повноцінного росту та розвитку та інтенсивність метаболічних процесів, що в ній відбуваються. Такі процеси мають вирішальне значення відповідно до даних Shahjadee et al., (2026). Навіть короткочасна активація життєздатності насіннєвого зародка зумовлює біохімічні зміни у ньому. За періоду тривалості проростання 48-72 години спостерігається зростання вмісту білків (на 17 %) та ліпідів (більш ніж на 36 %). Водночас, протягом 96 годин кількість харчових волокон збільшується на 30 %. Саме тому оптимізація параметрів схожості є важливим і перспективним напрямком як і в агрономії так і в харчових технологіях [8].

Водночас, на розвиток культури критично впливають не лише кліматичні показники, а й агрохімічні параметри середовища, що потрібно враховувати при складанні технологічної карти вирощування.

Зокрема, в умовах Бангладешу було проведено дослідження із вивчення оптимальних норм азотних добрив за вирощування чіа [9]. За вивчення біометричних показників (висоти, кількість листків та ін.) найкращий результат показав фон удобрення N_{150}, тоді як на показники врожайності позитивний вплив мав показник N_{120}, при цьому урожайність склала 10,66 ц/га, тоді на фоні N_{150} продуктивність культури була суттєво нижчою і складала 7,5 ц/га. Результати вчених, що вивчали вплив NPK на продуктивність культури та якість врожаю в умовах Індії вказують на те, що формула $N_{80}P_{60}K_{60}$ є найбільш оптимальною [10]. Зокрема, було отримано високі показники врожайності як насіння (10,2 ц/га) так і побічної продукції (4,12 ц/га). Такому зростанню продуктивності сприяло збільшення кількості колосків на 1 рослині та врожайності насіння з 1 рослини. До того ж такий рівень удобрення сприяв найвищому вмісту протеїну в насінні. Водночас, найвищий вміст олії було отримано на варіанті $N_{40}P_{20}K_{20}$. Схожих показників продуктивності домоглись у своєму дослідженні і Umilsingh et al.,

(2025) [11]. Ще одна група дослідників із Індії вивчала вплив норми азотних та борних добрив на біометричні показники та продуктивність культури [12]. Результати демонструють, що найбільш еективним було використання азоту у нормі 120 кг/га, в той час як бору 75 ppm. При цьому врожайність культури сягала рівня 1,12 т/га, а соломи 3,4 т/га. Не менш важливим питанням є й органічне удобрення культури. При їх внесенні у 100 кг/га у еквіваленті до азоту урожайність культури в умовах Індії (м. Бенгалур) становила 10,7 ц/га насіння та 18,3 ц/га соломи [13].

Мета. Враховуючи обмежену кількість наукових даних щодо реакції чіа на різні рівні поживного режиму в умовах України загалом, а точніше в Північно-Східному Лісостепу, метою цієї роботи є встановлення закономірностей динаміки біометричних показників та рівня врожайності *Salvia hispanica* L. залежно від застосування різних фонів удобрення. Отримані результати дозволять обґрунтувати ефективність та доцільність використання певних доз добрив для оптимізації технологічного процесу цієї культури у новому агроекологічному середовищі, що стане підґрунтям для розробки локальних рекомендацій для агровиробників регіону.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Поле, де проводились дослідження розташоване на території науково-виробничого центру (НВЦ) Сумського національного аграрного університету, тобто в зоні Північно-Східного Лісостепу України. Польовий дослід був проведений у вегетаційний період 2025 р. Рельєф дослідної ділянки рівнинний, відповідно дощові води розподіляються рівномірно не утворюючи змивів.

Дослідне поле розташовувалось на ділянці, де ґрунт було ідентифіковано як чорнозем типовий слабовилугований малогумусний середньсуглинковий на лесі. Вміст гумусу становив 4,0%. Реакція ґрунтового розчину близька до нейтрального і складала 6,7 (pH_{H2O}), що є оптимальним показником для вирощування чіа. Вміст макроелементів був в наступних межах: легкогідролізований азот – 11,5 мг/100 г ґрунту, рухомий фосфор – 24,1 мг/100 г ґрунту, а обмінний калій на рівні 18,4 мг/100 г ґрунту.

Кліматичні умови 2025 р досліджень наведені на Рис. 1. Загалом, протягом вегетаційного періоду спостерігались суттєві коливання температурних показників. Максимальний показник температури повітря та мінімальної температури ґрунту було зафіксовано у третій декаді липня. Зниження температур почало фіксуватись з вересня. Мінімальні значення температури було зафіксовано у першій декаді жовтня. За весь період дослідження мінімальна температура поверхні ґрунту була стабільно нижчою за температуру повітря, при цьому варто відмітити, що найбільша різниця між ними спостерігалась саме у третій декаді травня.

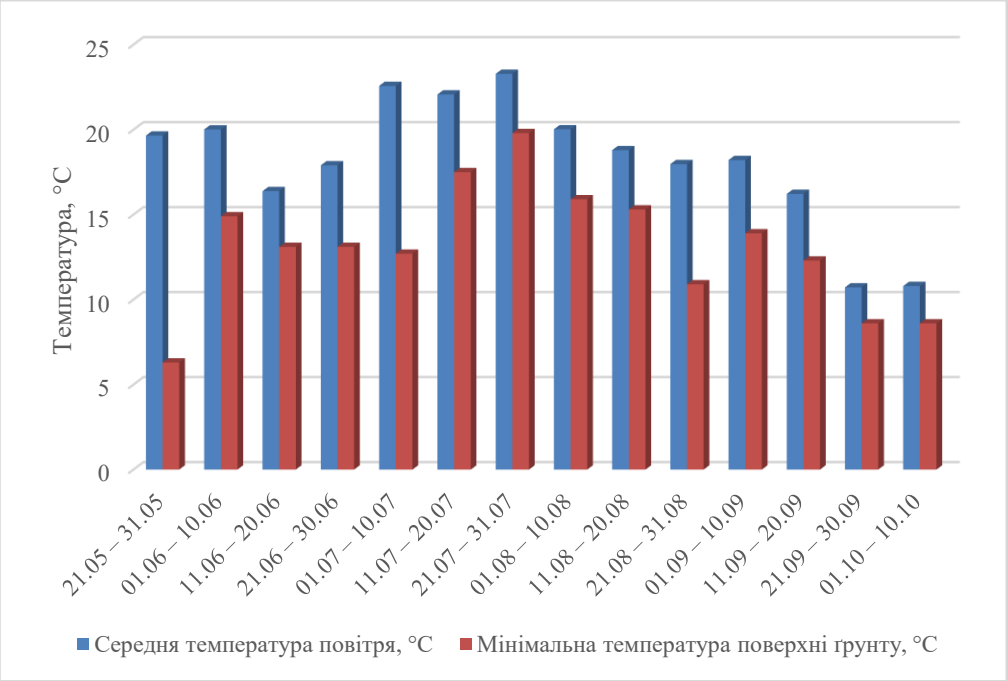


Рис. 1. Середньодекадна температура повітря та мінімальна температура поверхні ґрунту у 2025 р. (метеостанція Сумський НАУ)

Розподіл опадів за вегетаційний період досліджуваної культури був неоднорідним. Найбільший рівень опадів було зафіксовано у третій декаді липня. Найменша кількість опадів біла зафіксована на початку вегетації культури (третя декада травня) та у першій декаді вересня.

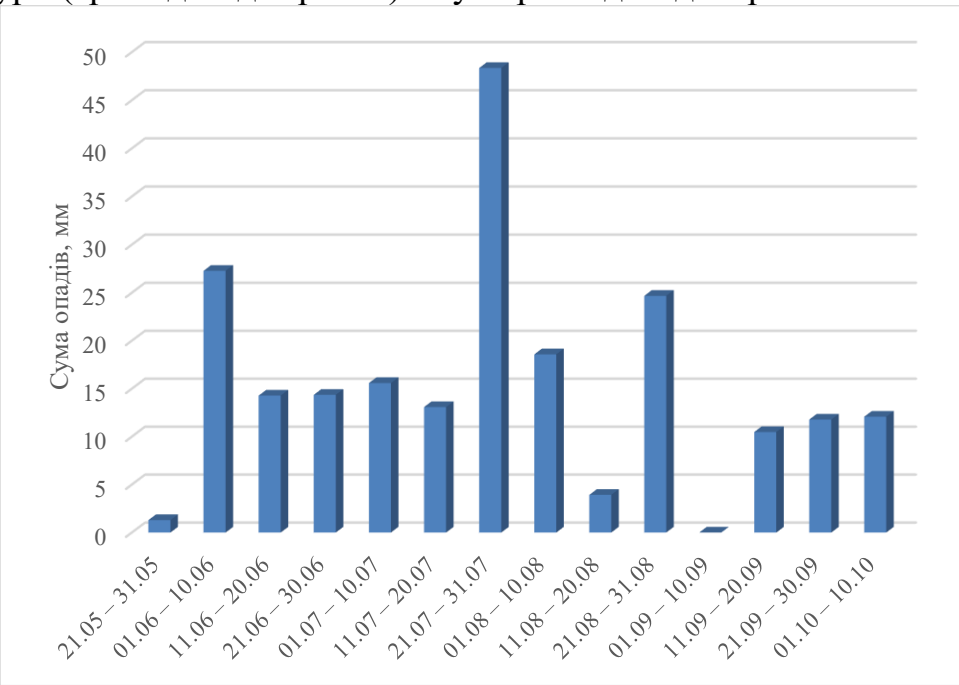


Рис. 2. Подекадна динаміка опадів за вегетаційний період 2025 р. (метеостанція Сумський НАУ)

Розрахунок гідротермічного коефіцієнта (ГТК) Селянинова за декадами вегетаційного періоду 2025 року свідчить про високу нестабільність умов зволоження та чітко виражену циклічність гідротермічного режиму. За період проведення досліджень було відмічено чергування етапів оптимального зволоження та гострої нестачі вологи. Максимальний показник ГТК було зафіксовано у третій декаді липня, що вказує на надмірне зволоження ґрунту. Водночас, найнижчий показник спостерігався на початку вегетації (третя декада травня) та другій декаді серпня. Найбільш критичними виявились осінні місяці – перша декада вересня та кінець вегетації, коли коефіцієнт дорівнював 0.

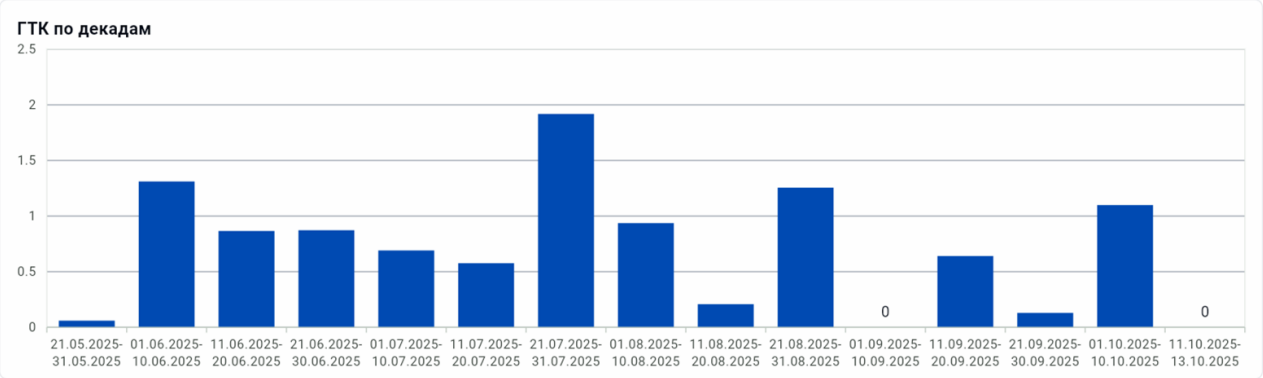


Рис. 3. Подекадна динаміка гідротермічного коефіцієнту за декадами вегетаційного періоду 2025 р.

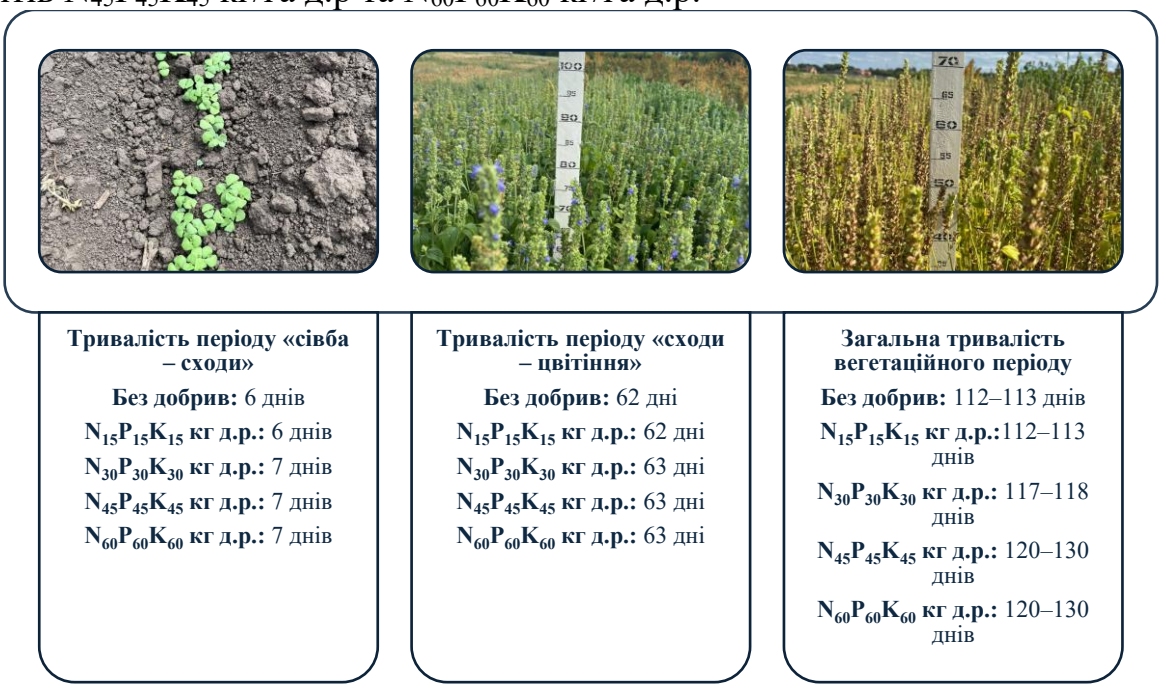
Дослідження передбачало вивчення впливу норми добрив на біометричні показники та продуктивність чіа. Зокрема, схема досліду включала контроль (без внесення мінеральних добрив) та 4 варіанти внесення повної норми макроелементних добрив ($N_{15}P_{15}K_{15}$, $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{45}P_{45}K_{45}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$ кг/га д.р.). Обробіток ґрунту передбачав зяблеву оранку на 20-22 см, ранньовесняне боронування для закриття вологи та сівбу у третій декад травня (21 травня) на глибину 1 см з міжряддям 45 см.

Для оцінки динаміки росту *Salvia hispanica* L. було використано загальноприйняті методи польових досліджень. Зокрема, фенологічні спостереження проводити шляхом візуальної фіксації настання певної фази та фіксації дати її настання. Відповідно до цього визначали тривалість міжфазних періодів (сівба-сходи, сходи-цвітіння) та загальну тривалість вегетації. Висоту рослин визначали шляхом вимірювання від поверхні ґрунту до верхівки центрального пагона. Також було підраховано кількість гілок, що несуть суцвіття, та виміряно довжину центрального суцвіття. Для оцінки продуктивності культури з кожної дослідної ділянки відбирали снопи, після чого за допомогою лабораторно-вагового аналізу визначали масу насіння з однієї рослини, масу 1000 насінин та урожайність.

Математичну обробку даних та статистичний аналіз проводили за допомогою програм MS Excel та Statistica 10.0. Статистична обробка включала

однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) та визначення достовірності статистичної відмінності даних за критерієм Дункана.

Аналіз тривалості міжфазних періодів та загального терміну вегетації (Рис. 4.) вказує, що застосування мінеральних добрив впливає на проходження досліджуваних фенологічних фаз. Внесення добив у нормі $N_{30}P_{30}K_{30}$ кг/га д.р та понад неї дещо подовжує період сівба-сходи. Аналогічна тенденція спостерігається і у періоду сходи-цвітіння. Тривалість вегетаційного періоду чіа також збільшується відповідно до підвищення норми добрив, зокрема найкоротший термін був відмічений на контрольному варіанті та з фоном добрив $N_{15}P_{15}K_{15}$ кг/га д.р, в той час як найбільш тривалий термін спостерігався для варіантів $N_{45}P_{45}K_{45}$ кг/га д.р та $N_{60}P_{60}K_{60}$ кг/га д.р.



Тривалість періоду «сівба – сходи»	**Тривалість періоду «сходи – цвітіння»**	**Загальна тривалість вегетаційного періоду**
Без добрив: 6 днів	**Без добрив:** 62 дні	**Без добрив:** 112–113 днів
$N_{15}P_{15}K_{15}$ кг д.р.: 6 днів	**$N_{15}P_{15}K_{15}$ кг д.р.:** 62 дні	**$N_{15}P_{15}K_{15}$ кг д.р.:**112–113 днів
$N_{30}P_{30}K_{30}$ кг д.р.: 7 днів	**$N_{30}P_{30}K_{30}$ кг д.р.:** 63 дні	**$N_{30}P_{30}K_{30}$ кг д.р.:** 117–118 днів
$N_{45}P_{45}K_{45}$ кг д.р.: 7 днів	**$N_{45}P_{45}K_{45}$ кг д.р.:** 63 дні	**$N_{45}P_{45}K_{45}$ кг д.р.:** 120–130 днів
$N_{60}P_{60}K_{60}$ кг д.р.: 7 днів	**$N_{60}P_{60}K_{60}$ кг д.р.:** 63 дні	**$N_{60}P_{60}K_{60}$ кг д.р.:** 120–130 днів

Рис. 4. Тривалість міжфазних періодів та вегетації *Salvia hispanica* L. залежно від фону удобрення

Відповідно до отриманих даних можна зробити висновок, що норми добрив мають суттєвий вплив на висоту рослин чіа (Таблиця 1). Було встановлено, що найнижчі показники висоти, які мають суттєву відмінність фіксувались на контрольному варіанті, тобто без застосування добрив і були в межах 63,40 ± 2,63. Достовірно вищий показник був отриманий за внесення мінімальної норми добрив $N_{15}P_{15}K_{15}$, який становив 72,90 ± 1,91. Найвищі показники висоти рослин були зафіксовані за норми добрив $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{45}P_{45}K_{45}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$, де отримані показники висоти суттєво переважали попередньо описані варіанти, проте не мали суттєвої різниці між собою, тому були згруповані з однаковим індексом відповідно до критерію Дункана.

Дані довжини центрального суцвіття культури вказують на певну різницю показника залежно від фону добрив. Найдовше суцвіття зафіксовано на варіанті

$N_{30}P_{30}K_{30}$, відповідно до критерію Дункана відмінність його у порівнянні із контролем та варіантом $N_{45}P_{45}K_{45}$ статистично значуща.

Таблиця 1. Висота рослин та довжина суцвіття *Salvia hispanica* L. залежно від норми добрив, (M ± SD, n=10)

Варіант удобрення	Висота рослин, см	Довжина центрального суцвіття, см
Контроль	$63,4 \pm 2,6^{c*}$	$9,2 \pm 2,5^{a}$
$N_{15}P_{15}K_{15}$	$72,9 \pm 1,9^{b}$	$10,3 \pm 2,2^{a}$
$N_{30}P_{30}K_{30}$	$83,7 \pm 2,9^{a}$	$11,4 \pm 2,6^{b}$
$N_{45}P_{45}K_{45}$	$83,8 \pm 2,3^{a}$	$9,0 \pm 2,9^{a}$
$N_{60}P_{60}K_{60}$	$83,8 \pm 2,2^{a}$	$9,8 \pm 3,0^{a}$

*Примітка: буквені індекси вказують на результати множинного порівняння за критерієм Дункана ($p < 0,05$). Середні значення, позначені різними літерами, мають статистично значущу різницю.

Рисунок 5 відображає характер впливу фону удобрення на кількість суцвіть у рослин чіа. Найнижче значення (3,8 шт./рослину) було зафіксовано на контрольному варіанті. Внесення добрив у нормі $N_{15}P_{15}K_{15}$ забезпечило стистично значущий приріст кількості суцвіть, яка становила 7,5 шт./рослину. Збільшення норми мінерального живлення на інших варіантах дозволило дещо збільшити кількість суцвіть, проте за результатами аналізу критерію Дункана їх кількість не відрізнялась від контрольного варіанту суттєво, що дозволило об'єднати в одну групу.

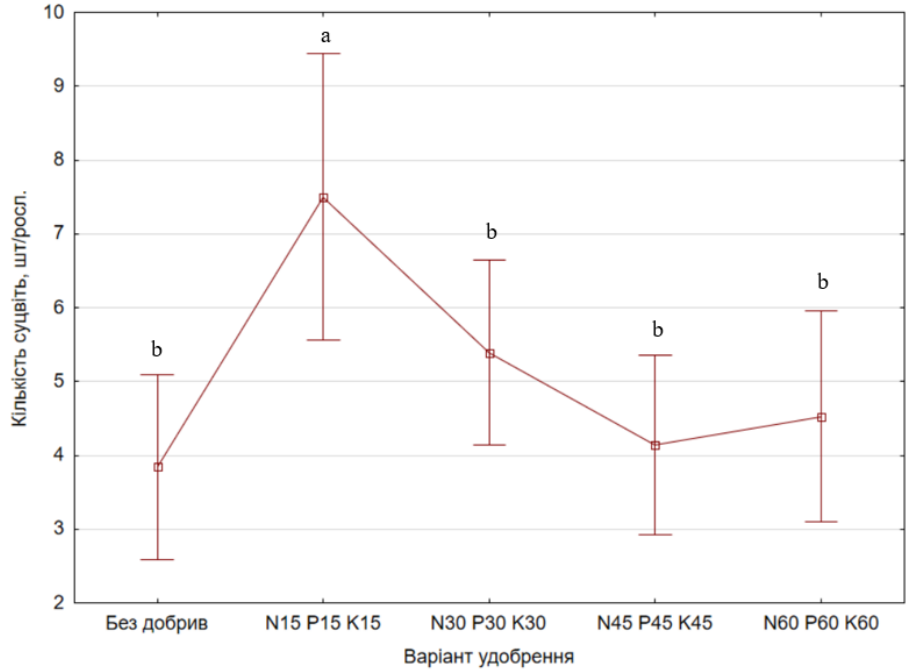


Рис. 5. Кількість суцвіть *Salvia hispanica* L. залежно від фону удобрення (квадратні позначки відповідають середнім значенням показника, вертикальні відрізки — стандартним похибкам; буквенні індекси над маркерами позначають статистично значущі відмінності за критерієм Дункана, n=10)

На рисунку 6 відображено динаміку маси насіння з 1 рослини чіа залежно від норми добрив. Було зафіксовано, що найвищий показник було отримано за внесення норми $N_{30}P_{30}K_{30}$, при цьому було отримано 0,86 г насіння. Водночас, найменша кількість насіння була отримана на варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ і становила 0,52 г. Однак, відповідно до оцінювання отриманих даних за критерієм Дункана статистична відмінність між варіантами зафіксована не була (p = 0,41).

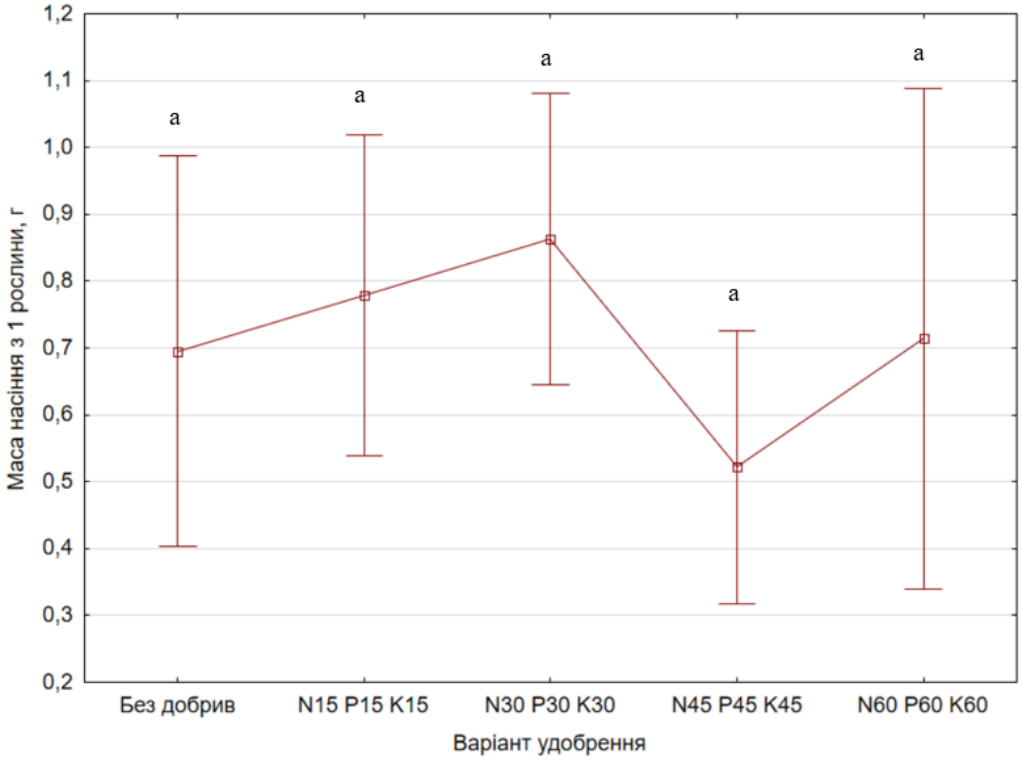


Рис. 6. Маса насіння з 1 рослини *Salvia hispanica* L. залежно від фону удобрення (n=10)

Аналіз показників продуктивності чіа вказує на нелінійний характер впливу мінеральних добрив на масу 1000 насінин та урожайність культури (Таблиця 2).

Таблиця 2.

Маса 1000 насінин та урожайність *Salvia hispanica* L. залежно від норми добрив, (M ± SD, n=3)

Варіант удобрення	Маса 1000 насінин, г	Урожайність, т/га
Контроль	1,29 ± 0,08^{a}	0,58 ± 0,03^{a}
$N_{15}P_{15}K_{15}$	1,35 ± 0,05^{a}	0,51 ± 0,06^{ab}
$N_{30}P_{30}K_{30}$	1,40 ± 0,12^{a}	0,61 ± 0,02^{a}
$N_{45}P_{45}K_{45}$	1,40 ± 0,06^{a}	0,49 ± 0,04^{b}
$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,35 ± 0,10^{a}	0,48 ± 0,07^{b}

Так, маса 1000 насінин була в межах 1,29 – 1,40 г, при цьому максимальне значення було отримане за внесення норм $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{45}P_{45}K_{45}$. Проте,

оцінювання результатів за критерієм Дункана вказує на несуттєву різницю між триманими даними, відповідно були віднесені до однієї гомогенної групи «а». Незважаючи на це, відмінність в урожайності є доволі суттєвою, при цьому найнижча продуктивність була отримана на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60,}$ а найвища на фоні добрив $N_{30}P_{30}K_{30}$.

Отримані дані вказують, що на кінцеву продуктивність культури вплинув загальний комплекс змін у показниках, що досліджувались, на які впливали фони удобрення. Так, оптимізація росту культури на початку вегетації дозволила покращити архітектуру травостою, проте надмірне застосування добрив призвело до зниження кількості суцвіть, що утворювались на рослині, що таким чином обмежило потенційну урожайність.

Маса 1000 насінин, тим не менш, не мала суттєвої відмінності відповідно до фону удобрення, вказуючи на те, що цей показник визначається генетичною стабільністю культури. Відповідно, наповненість зернівок не отримувала значного впливу від досліджуваних фонів удобрення.

Ключовий чинник, що вплинув на кінцеву продуктивність став оптимальний баланс живлення. Як видно з отриманих результатів помірні дози добрив забезпечили найбільшу кількість отриманого насіння. Однак, надмірні дози викликали депресію росту та, відповідно, зниження продуктивності культури. Тобто, реалізація генетичного потенціалу культури доволі сильно залежить фону удобрення: надмірна їх кількість призводить не лише до зниження врожайності, а й до недоцільних економічних витрат.

Варто також зазначити, що оскільки в Україні ще не проводились такі дослідження ми не можемо порівнювати отримані результати у відповідних ґрунтово-кліматичних умовах. Переважна більшість літературних джерел для проведення порівнянь походить із Південної Азії. Тому, наприклад, у дослідженні Singh, et al., (2023) рекомендовано вищу дозу мінеральних добрив ($N_{80}P_{60}K_{60}$), що дозволила забезпечити врожайість чіа на рівні 10,2 ц/га [14]. А вченими, що проводили сої дослідження у Єгипті було встановлено, що комбінація нижчої густоти стояння рослин (50 тис. рослин/га) та збільшення норми азотних добрив (120 кг/га) позитивно впливає на показники збору свіжої та сухої маси чіа (İzgi et al., 2024). Водночас, дослідженнями, що були проведені в Південно-Східному регіоні Німеччини встановлено, що для отримання високої врожайності варто поєднувати комбінацію із таких факторів як широкорядний посів (50 см), норми висіву 1,5 кг/га та норми азотних добрив 20 чи 40 кг/га [15].

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Проведені польові дослідження в умовах Північно-Східного Лісостепу України довели, що норми мінеральних добрив справляють суттєвий вплив на ростові процеси, фенологічний розвиток та продуктивність рослин *Salvia hispanica* L. Застосування мінерального живлення сприяло подовженню вегетаційного періоду та збільшенню висоти рослин, причому найвищі показники висоти були зафіксовані на варіантах $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{45}P_{45}K_{45}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$. Водночас найбільша довжина центрального суцвіття та кількість суцвіть на

рослині формувалися за помірних норм внесення елементів живлення, тоді як надмірне підвищення доз добрив призводило до зниження досліджуваних показників продуктивності.

Аналіз структурних елементів урожайності засвідчив, що маса 1000 насінин є стійкою, генетично детермінованою ознакою, яка не мала вірогідних відмінностей залежно від фону удобрення. Натомість загальна урожайність чіа демонструвала нелінійну залежність від умов мінерального живлення: найвищу продуктивність забезпечило внесення помірної норми добрив $N_{30}P_{30}K_{30}$ (0,61 т/га) та на контролі (0,58 т/га), тоді як підвищені дози ($N_{45}P_{45}K_{45}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$) викликали депресію росту та зниження врожайності. Це свідчить про економічну та екологічну недоцільність використання надмірних норм агрофону для культури в регіоні.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні наукового пошуку щодо оптимізації елементів технології вирощування *Salvia hispanica* L. з урахуванням мінливих гідротермічних умов Лісостепу України. Зокрема, актуальним є комплексне вивчення взаємодії густоти стояння рослин, строків сівби та збалансованих доз мінеральних добрив для максимальної реалізації біологічного та продуктивного потенціалу нішевої культури.

Автори підтверджують відсутність потенційного чи наявного конфлікту інтересів, який міг би вплинути на результати дослідження та публікації

Фінансування. Дослідження виконано в межах ініціативної прикладної науково-дослідної роботи Сумського національного аграрного університету на тему «Оптимізація елементів технології вирощування нішевих культур на прикладі чіа (*Salvia hispanica*) для підвищення продуктивності та адаптивності в ґрунтово-кліматичних умовах Північно-Східного Лісостепу України», яка зареєстрована в УкрІНТЕІ 26 травня 2025 року під державним реєстраційним номером 0125U002572.

Список використаної літератури

1. Cahill, J. P. (2003). Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). *Economic Botany*, *57*(4), 604–618. https://doi.org/10.1663/0013-0001(2003)057%5B0604:EOCSHL%5D2.0.CO;2
2. Knez Hrnčič, M., Ivanovski, M., Cör, D., & Knez, Ž. (2019). Chia seeds (*Salvia hispanica* L.): an overview—phytochemical profile, isolation methods, and application. *Molecules*, *25*(1), 11. https://doi.org/10.3390/molecules25010011
3. Khalid, W., Arshad, M. S., Aziz, A., Rahim, M. A., Qaisrani, T. B., Afzal, F., Ali, A., Ranjha, M. M. A. N., Khalid, M. Z., & Anjum, F. M. (2023). Chia seeds (*Salvia hispanica* L.): a therapeutic weapon in metabolic disorders. *Food Science & Nutrition*, *11*(1), 3–16. https://doi.org/10.1002/fsn3.3035
4. Zare, T., Fournier-Level, A., Ebert, B., & Roessner, U. (2024). Chia (*Salvia hispanica* L.), a functional 'superfood': New insights into its botanical, genetic and nutraceutical characteristics. *Annals of Botany*, *134*(5), 725–746. https://doi.org/10.1093/aob/mcae123
5. Salgado, V. D. S. C. N., Zago, L., Antunes, A. E. C., & Miyahira, R. F. (2022). Chia (*Salvia hispanica* L.) seed germination: a brief review. *Plant Foods for Human Nutrition*, *77*(4), 485–494. https://doi.org/10.1007/s11130-022-01011-z
6. Rossafi, A., El Aidouni, S., Rossafi, M., & Ouhssine, M. (2026). Optimizing chia (*Salvia hispanica L.*) seed germination: effects of thermal and seed aging on physiological parameters-a case

study from Western Morocco. *International Journal of Agriculture and Biosciences*. https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2026.065
7. Cabrera-Santos, D., Ordoñez-Salanueva, C. A., Sampayo-Maldonado, S., Campos, J. E., Orozco-Segovia, A., & Flores-Ortiz, C. M. (2022). Quantifying cardinal temperatures of chia (*Salvia hispanica* L.) using non-linear regression models. *Plants*, *11*(9), 1142. https://doi.org/10.3390/plants11091142
8. Shahjadee, U. F., Hossain, Md. H., Ethane, N. J., Kabir, Md. A., Hasan, Md. R., Khatun, Mst. M., Hossain, A., & Rupa, A. Z. (2026). Impact of germination on the nutritional composition and bioactive properties of Bangladeshi *Salvia hispanica* L. seeds. *Food and Humanity*, *6*, 101209. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2026.101209
9. Shorna, S. I., Akhter, B. A., Anwar, M. P., & Hossain, M. A. (2024). Growth and yield response of BAU Chia-1 (*Salvia hispanica*) to Nitrogen Fertilizer. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, *22*(4), 443–450. https://doi.org/10.3329/jbau.v22i4.78849
10. Singh, N. U., Venkatachalapathi, V., Amrutha, T. G., Naveen, D. V., & Reddy, M. V. S. (2023). Crop growth,yield attributes,yield and quality of chia (*Salvia hispanica* L.) as influenced by spacing and fertilizer levels. *International Journal of Environment and Climate Change*, *13*(10), 1585–1597. https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102814
11. Umilsingh, N., Venkatachalapathi, V., Latha, H. S., Bobbe, S., Madhu, B., Sree, Y. S., & Anushka, A. S. (2025). Effect of various crop spacings and fertilizers on yield and economics of chia (*Salvia hispanica* l.). *Applied Ecology and Environmental Research*, *23*(1), 159–170. https://doi.org/10.15666/aeer/2301_159170
12. Malwa, G. S., Rawat, S., Kaushik, R., & Choubey, H. (2025). Effect of nitrogen and boron on growth and yield attributes of chia (*Salvia hispanica* L.). *International Journal of Research in Agronomy*, *8*(8), 89–92. https://doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i8b.3495
13. Chaitanya, A., Murali, K., Deva Kumar, N., Gangadhar Eswar Rao, S. R. Anand, Usha Ravindra, & Chikkaramappa, T. (2022). Effect of spacing and organic sources of nutrients on growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.). *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, *56*(4), 44-50.
14. Singh, N. U., Venkatachalapathi, V., Murthy, K. N. K., Latha, H. S., Naveen, D. V., & Sree, Y. S. (2023). Optimization of spacing and fertilizer levels on growth, yield parameters and yield of chia (*Salvia hispanica* L.). *International Journal of Environment and Climate Change*, *13*(8), 1705–1716. https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i82123
15. İzgi, M. N., Karaman, Ş., & Tonçer, Ö. (2024). Interactive effects of number of plants and nitrogen fertilization on quality parameters of *Salvia officinalis* L. cultivated in semi-arid environments. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *27*(2), 432–449. https://doi.org/10.1080/0972060X.2024.2307906
16. Grimes, S. J., Phillips, T. D., Capezzone, F., & Graeff-Hönninger, S. (2019). Impact of Row Spacing, Sowing Density and Nitrogen Fertilization on Yield and Quality Traits of chia (*Salvia Hispanica* L.) Cultivated in southwestern Germany. *Agronomy*, *9*(3), 136. https://doi.org/10.3390/agronomy9030136

Vitalii Yatsenko,
PhD in Agronomy, Senior Lecturer at the Department of Agrotechnologies and Soil Science
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID ID 0000-0001-7686-6634
email: vitaliiyatsenko1@gmail.com
Volodymyr Trotsenko,
Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Agrotechnologies and Soil Science
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID ID 0000-0001-8101-0849
email: vtrotsenko@ukr.net

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

Oksana Lahovska,
PhD in Agronomy, Senior Lecturer at the Department of Agrotechnologies and Soil Science
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID ID 0000-0001-9610-3087
email: datsko.oksana.nikol@gmail.com

Vitalii Kotenko,
PhD student at the Department of Agrotechnologies and Soil Science
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID ID 0009-0005-5229-0534
email: kotenkovitaliy@ukr.net

DYNAMICS OF BIOMETRIC INDICATORS AND YIELD OF SALVIA HISPANICA L. DEPENDING ON THE FERTILIZATION BACKGROUND

Abstract

The article presents the research results on the effect of various mineral fertilizer rates on the growth processes, phenological development, and productivity of chia (Salvia hispanica L.) plants under the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine in 2025. The experiment included a control (without fertilizers) and four variants with complete mineral nutrition (N15P15K15, N30P30K30, N45P45K45, N60P60K60). It was established that the application of mineral fertilizers affects the duration of inter-phase periods and the total duration of the culture's growing season, as well as leads to an increase in plant height.

A non-linear nature of the effect of the studied doses on the generative sphere and productivity of chia was revealed. In particular, the highest number of inflorescences per plant was formed with the application of a moderate rate of N15P15K15. At the same time, the 1000-seed weight proved to be a conservative, genetically determined trait and showed no statistically significant differences depending on the fertilizer background.

The highest total seed yield was provided by the application of fertilizers at a dose of N30P30K30 (t/ha) and in the control option (t/ha). A further increase in agricultural background rates (N45P45K45, N60P60K60) led to growth depression and a decrease in productivity, which confirms the economic and ecological impracticality of using excessive rates of mineral fertilizers for growing chia in the region.

***Keywords**: chia, 1000-seed weight, productivity, germination, niche crop.*

References

1. Cahill, J. P. (2003). Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). *Economic Botany*, *57*(4), 604–618. https://doi.org/10.1663/0013-0001(2003)057%5B0604:EOCSHL%5D2.0.CO;2
2. Knez Hrnčič, M., Ivanovski, M., Cör, D., & Knez, Ž. (2019). Chia seeds (*Salvia hispanica* L.): an overview—phytochemical profile, isolation methods, and application. *Molecules*, *25*(1), 11. https://doi.org/10.3390/molecules25010011
3. Khalid, W., Arshad, M. S., Aziz, A., Rahim, M. A., Qaisrani, T. B., Afzal, F., Ali, A., Ranjha, M. M. A. N., Khalid, M. Z., & Anjum, F. M. (2023). Chia seeds (*Salvia hispanica* L.): a therapeutic weapon in metabolic disorders. *Food Science & Nutrition*, *11*(1), 3–16. https://doi.org/10.1002/fsn3.3035
4. Zare, T., Fournier-Level, A., Ebert, B., & Roessner, U. (2024). Chia (*Salvia hispanica* L.), a functional 'superfood': New insights into its botanical, genetic and nutraceutical characteristics. *Annals of Botany*, *134*(5), 725–746. https://doi.org/10.1093/aob/mcae123
5. Salgado, V. D. S. C. N., Zago, L., Antunes, A. E. C., & Miyahira, R. F. (2022). Chia (*Salvia hispanica* L.) seed germination: a brief review. *Plant Foods for Human Nutrition*, *77*(4), 485–494. https://doi.org/10.1007/s11130-022-01011-z

6. Rossafi, A., El Aidouni, S., Rossafi, M., & Ouhssine, M. (2026). Optimizing chia (*Salvia hispanica L.*) seed germination: effects of thermal and seed aging on physiological parameters-a case study from Western Morocco. *International Journal of Agriculture and Biosciences*. https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2026.065
7. Cabrera-Santos, D., Ordoñez-Salanueva, C. A., Sampayo-Maldonado, S., Campos, J. E., Orozco-Segovia, A., & Flores-Ortiz, C. M. (2022). Quantifying cardinal temperatures of chia (*Salvia hispanica* L.) using non-linear regression models. *Plants*, *11*(9), 1142. https://doi.org/10.3390/plants11091142
8. Shahjadee, U. F., Hossain, Md. H., Ethane, N. J., Kabir, Md. A., Hasan, Md. R., Khatun, Mst. M., Hossain, A., & Rupa, A. Z. (2026). Impact of germination on the nutritional composition and bioactive properties of Bangladeshi *Salvia hispanica* L. seeds. *Food and Humanity*, *6*, 101209. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2026.101209
9. Shorna, S. I., Akhter, B. A., Anwar, M. P., & Hossain, M. A. (2024). Growth and yield response of BAU Chia-1 (*Salvia hispanica*) to Nitrogen Fertilizer. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, *22*(4), 443–450. https://doi.org/10.3329/jbau.v22i4.78849
10. Singh, N. U., Venkatachalapathi, V., Amrutha, T. G., Naveen, D. V., & Reddy, M. V. S. (2023). Crop growth,yield attributes,yield and quality of chia (*Salvia hispanica* L.) as influenced by spacing and fertilizer levels. *International Journal of Environment and Climate Change*, *13*(10), 1585–1597. https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102814
11. Umilsingh, N., Venkatachalapathi, V., Latha, H. S., Bobbe, S., Madhu, B., Sree, Y. S., & Anushka, A. S. (2025). Effect of various crop spacings and fertilizers on yield and economics of chia (*Salvia hispanica* l.). *Applied Ecology and Environmental Research*, *23*(1), 159–170. https://doi.org/10.15666/aeer/2301_159170
12. Malwa, G. S., Rawat, S., Kaushik, R., & Choubey, H. (2025). Effect of nitrogen and boron on growth and yield attributes of chia (*Salvia hispanica* L.). *International Journal of Research in Agronomy*, *8*(8), 89–92. https://doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i8b.3495
13. Chaitanya, A., Murali, K., Deva Kumar, N., Gangadhar Eswar Rao, S. R. Anand, Usha Ravindra, & Chikkaramappa, T. (2022). Effect of spacing and organic sources of nutrients on growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.). *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, *56*(4), 44-50.
14. Singh, N. U., Venkatachalapathi, V., Murthy, K. N. K., Latha, H. S., Naveen, D. V., & Sree, Y. S. (2023). Optimization of spacing and fertilizer levels on growth, yield parameters and yield of chia (*Salvia hispanica* L.). *International Journal of Environment and Climate Change*, *13*(8), 1705–1716. https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i82123
15. İzgi, M. N., Karaman, Ş., & Tonçer, Ö. (2024). Interactive effects of number of plants and nitrogen fertilization on quality parameters of *Salvia officinalis* L. cultivated in semi-arid environments. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *27*(2), 432–449. https://doi.org/10.1080/0972060X.2024.2307906
16. Grimes, S. J., Phillips, T. D., Capezzone, F., & Graeff-Hönninger, S. (2019). Impact of Row Spacing, Sowing Density and Nitrogen Fertilization on Yield and Quality Traits of chia (*Salvia Hispanica* L.) Cultivated in southwestern Germany. *Agronomy*, *9*(3), 136. https://doi.org/10.3390/agronomy9030136

Стаття надійшла до редакції 23.07.2026
Стаття пройшла рецензування 25.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 120
ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

УДК: 628.35:582.263:546.3
DOI 10.37000/abbsl.2026.120.25

Юрій Бойко
Кандидат біологічних наук, доцент
Одеський державний аграрний університет
ORCID ID: 0000-0002-3387-0219
e-mail: yuriyalexb@gmail.com

Ірина Бойко
Кандидат хімічних наук, доцент
Одеський національний медичний університет
ORCID ID: 0000-0002-3101-8540
e-mail: i.boyko.od@gmail.com

ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД ЗА ВІД ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КУЛЬТУРИ *CHLORELLA VULGARIS*

Анотація

Не зважаючи на велику кількість існуючих технологій очистки стічних вод (промислових, меліораційних, побутових), кінцевий хімічних склад стоків, що надходить до природних водоймищ може становити загрозу для їх екологічного стану. Ціллю роботи було дослідження використання мікрокультури Chlorella vulgaris для очищення стічних вод від розчинних форм важких металів. Культуру Chlorella vulgaris вирощували у скляних біореакторах на поживному середовищі Тамія. Режим освітлення постійний, штучний. Барбатаж складав: повітря – від 0,05 ppm до 0,1 ppm, вуглекислий газ - від 0,01 ppm до 0,05 ppm. Отриману концентровану культуру вносили до об'єму стічної води у пропорції 1:5, концентрація Chlorella vulgaris у розчині, що вносилися складала 5 х 107 клітин/мл. Отриману суміш витримували протягом 15 діб проводячи вимірювання концентрації міді, цинку, марганцю та хрому на 3, 5, 10 та 15 добу. Було встановлено, що в перші 5 діб відбувається поглинання культурою Chlorella vulgaris більш ніж 50 % від першопочаткової кількості кожного важкого металу. У той же час інтенсивність поглинання залежала від початкової концентрації метала, при її збільшенні до токсичних для Chlorella vulgaris величин, процес поглинання помітно гальмувався. При концентрації цинку 2,5 мг/л, на п'яту добу поглинулося у 1,5 рази менше іонів металу ніж у випадку концентрації 0,9 мг/л. Також був зафіксований ефект повторного підвищення концентрації хрому на п'яту добу, що ми пов'язуємо з механізмами його абсорбції на зовнішню поверхню мембрани Chlorella vulgaris. Проведено дослідження показало, що використання Chlorella vulgaris може стати основою високоефективного біотехнологічного методу очистки стічних вод від важких металів.

Ключові слова: *Chlorella vulgaris, важкі метали, стічні води.*

Вступ. Техногенний тиск на водні екосистеми становить одну з найбільш критичних сучасних екологічних проблем, яка суттєво деструктурує біологічне різноманіття та порушує функціональну стійкість гідробіоценозів. Стандартні очисні споруди зазвичай неспроможні ефективно вилучати мікрозабруднюючі компоненти, представлені розмаїттям хімічно інертних та біологічно активних

речовин (БАР). Серед них виділяють пестициді препарати, фармпрепарати, поверхнево-активні сполуки, поліциклічну ароматику, важкі метали та органічні мікродомішки. Наявність таких речовин згубно позначається на стані гідробіонтів (включаючи риб, зоопланктонні організми та макробезхребетних), руйнуючи трофічні мережі та порушуючи природну рівновагу у водоймах [1-3].

Значні побоювання викликає тривалий період напіврозпаду цих елементів у довкіллі, їхня висока токсичність та виражена здатність до накопичення в організмах, що формує масштабні ризики для екологічного благополуччя та людського здоров'я. Наведені компоненти спроможні провокувати мутагенні ефекти, канцерогенез і порушення ембріонального розвитку [4]. Через природні ліпофільні властивості вони акумулюються переважно у ліпідних депо живих організмів. Для таких токсикантів також властивий ефект біомагніфікації, що виявляється у зростанні їхньої концентрації у вищих трофічних ланцюгах і суттєвому посиленні загального екологічного ризику [5].

Знешкодження агрогенних, комунально-побутових і промислових стоків можливе завдяки впровадженню біотехнологічних методів фіто- та пікоремедіації [6], орієнтованих на залучення мікроорганізмів задля метаболічної деструкції та зв'язування різноманітних токсикантів. Науковий пошук у цьому напрямі інтенсивно триває ще з середини минулого століття [7-9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Будучи ключовими автотрофними продуцентами у гідроекосистемах, мікроводорості не тільки формують первинну біомасу, а й виступають надійними біоіндикаторами екологічного стану середовища, безпосередньо коригуючи його трофічні параметри та гідрохімічний режим. Сьогодні вагома увага науковців прикута до вивчення можливостей мікроводоростей утилізувати надлишок біогенних сполук зі стічних вод із залученням попередніх фізико-хімічних етапів (таких як гравітаційне осадження та декантація рідкої фази), а також вторинної біологічної очистки (включаючи аеробні канальні системи та активний мул). При цьому досягається ефективна фіксація вуглецю разом із вилученням із водного середовища фосфатних, азотистих, металовмісних і складних органічних сполук. Наразі науково підтверджено біоремедіаційний та очисний потенціал приблизно 40 видів водоростей стосовно природних акваторій та побутових стічних вод [10].

Висока адаптивність мікроводоростей до довкілля дозволяє їм результативно знешкоджувати органічні мікрозабрудники у стічних водах незалежно від їхнього походження чи фізико-хімічних умов [11]. До цієї групи полютантів належать залишки ліків, гігієнічні засоби, пестициди, поліхлоровані біфеніли, гормональні препарати й промислові реактиви [12]. Однак зазначені речовини нерідко утримуються у водоймах, накопичуючись у верхній товщі води. Наприклад, культивування *Chlorella sorokiniana* забезпечило вилучення від 60 до 100 % диклофенаку, ібупрофену, парацетамолу та метопрололу. Разом із тим елімінація карбамазепіну й триметоприму виявилася суттєво нижчою –

максимум 30 та 60 % відповідно, що вказує на неоднакову сприйнятливість фармацевтичних субстанцій до біофотохімічної переробки [13]. Міжмолекулярна взаємодія розчинених органічних сполук із мікроводоростевою біомасою здатна модифікувати ферментативну активність клітин, від якої безпосередньо залежать динаміка й повнота розкладу забруднювальних речовин [14].

У біодеструкції макролідних антибіотиків (зокрема еритроміцину та кларитроміцину) вищу ефективність відносно інших видів показує *Chlamydomonas acidophila*, яка здатна очищувати стоки від цих препаратів на 93-65 % та 64-50 % відповідно [15]. Експериментальні спостереження свідчать, що навіть критично високий вміст фармацевтичних сполук не пригнічує життєдіяльність цього штаму, підтверджуючи його перспективність як витривалого біоагента для системи водоочищення [15-17].

Перспективним напрямом є також застосування ціанобактерії *Spirulina platensis* для біоремедіації вод, забруднених лікарськими засобами. Дослідники з'ясували, що додавання 0,3 г/л глюкози в серійних дослідах стимулювало біодеградацію карбамазепіну, підвищивши показник його елімінації з 30 до 50 % [18].

Високий потенціал до кометаболічного перетворення сульфаметоксазолу продемонстрували штами *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Scenedesmus quadricauda*, *Sc. obliquus*, *Sc. acuminatus* та *Chlorella pyrenoidosa*, що обґрунтовує доцільність їх введення до біотехнологічних комплексів очищення. Крім того, доведено спроможність мікроводоростей до кометаболічної трансформації сульфаніламіду, що створює підґрунтя для їх впровадження у новітні водоочисні технології [19].

Будучи фундаментальними первинними продуцентами, які закладають основу харчових ланцюгів у водоймах, мікроводорості відіграють критичну роль у збереженні стабільності екосистем. Завдяки здатності абсорбувати токсичні сполуки вони не тільки допомагають самоочищенню водного середовища, а й беруть участь у трофічному перенесенні цих речовин, що суттєво впливає на перерозподіл забруднювачів усередині біоценозу [20]. Чисельні наукові публікації підтверджують факт акумуляції токсичних металів у біомасі гідробіонтів [21]. Зокрема, це доводять дані експериментів [22], згідно з якими мікроводорость *Chlorella vulgaris* за умов впливу металів у концентрації до 1 мг/л кожного виказує виражену біоакумуляційну спроможність, особливо стосовно Zn (0,83 мг/г сухої речовини), Cu (0,67 мг/г) та Mn (0,52 мг/г). Показники накопичення Cr (0,45 мг/г) і Cd (0,38 мг/г) також виявилися високими, тоді як для Pb зафіксовано найменший рівень акумуляції – 0,12 мг/г.

У солоноводних екосистемах мікроводорость *Phaeodactylum tricornutum* спроможна концентрувати Zn, Cu та Cd у обсягах понад 30 мг/кг у донних відкладах, що вказує на її адаптованість до тривалого забруднення та високий потенціал для біомоніторингу морських середовищ [23].

Застосування мікроводоростей для очищення поєднує економічну вигідність із можливістю одночасно вилучати забруднюючі речовини та отримувати цінну біомасу [21].

Метою статті є дослідження здатності культури мікроводорослі Chlorella vulgaris очищувати стічні води від важких металів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для культивування була отримана чиста культура *Chlorella vulgaris* від комерційного виробника ТОВ "Хлорелла Україна", м. Біла Церква, Україна. Культуру *Chlorella vulgaris* вирощували у скляних біореакторах різного об'єму. Температура вирощування жорстко не контролювалась та була близька до температури у приміщенні де відбувалось вирощування і складала 26-29 °С, культивування проводили у літній період. Режим освітлення штучний, за допомогою фітоламп, цілодобовий. Барбатація відбувалась шляхом активного нагнітання атмосферного повітря та вуглекислого газу у товщу поживного середовища. Швидкість надходження атмосферне повітря – від 0,05 ppm до 0,1 ppm, вуглекислий газ - від 0,01 ppm до 0,05 ppm. Для вирощування використовувалась стандартне поживне середовище Тамія.

Після отримання концентрованої культури *Chlorella vulgaris* проводили дослідження її здатності забезпечувати очищення води від різних забруднювачів. Для цього розчин з культурою *Chlorella vulgaris* у концентрації 5 х 10^7 клітин/мл вносили до об'єму стічної води у пропорції 1 : 5. Після цього отриману суміш залишали на термін від 12 годин до 14 діб в залежності від типу забруднювача. Наприкінці вказаного терміну від суміші відбирали пробу води для подальшого кількісного хімічного аналізу з визначенням кінцевої концентрації забруднювача.

Хімічні аналізи проб води проводили за допомогою тест-наборів для визначення концентрації відповідних речовин.

Хімічний аналіз зразків води відібраних зі стоків морського узбережжя Чорного моря у районі м. Одеса. показав підвищений вміст важких металів, а саме міді (260 мкг/л, 16 станція Фонтана), цинку (2,5 мг/л, Чорноморка), марганцю (0,1-0,24 мг/л, у всіх точках), хрому (80 мкг/л, Чорноморка). У подальшому в зібрані стічні води у нативному вигляді була додана культура *Chlorella vulgaris* з метою зменшення водневої концентрації наведених важких металів. Отримані дані, щодо динаміки зміни концентрації міді у стічних водах після додавання культури *Chlorella vulgaris* надані рис. 1 (A-D).

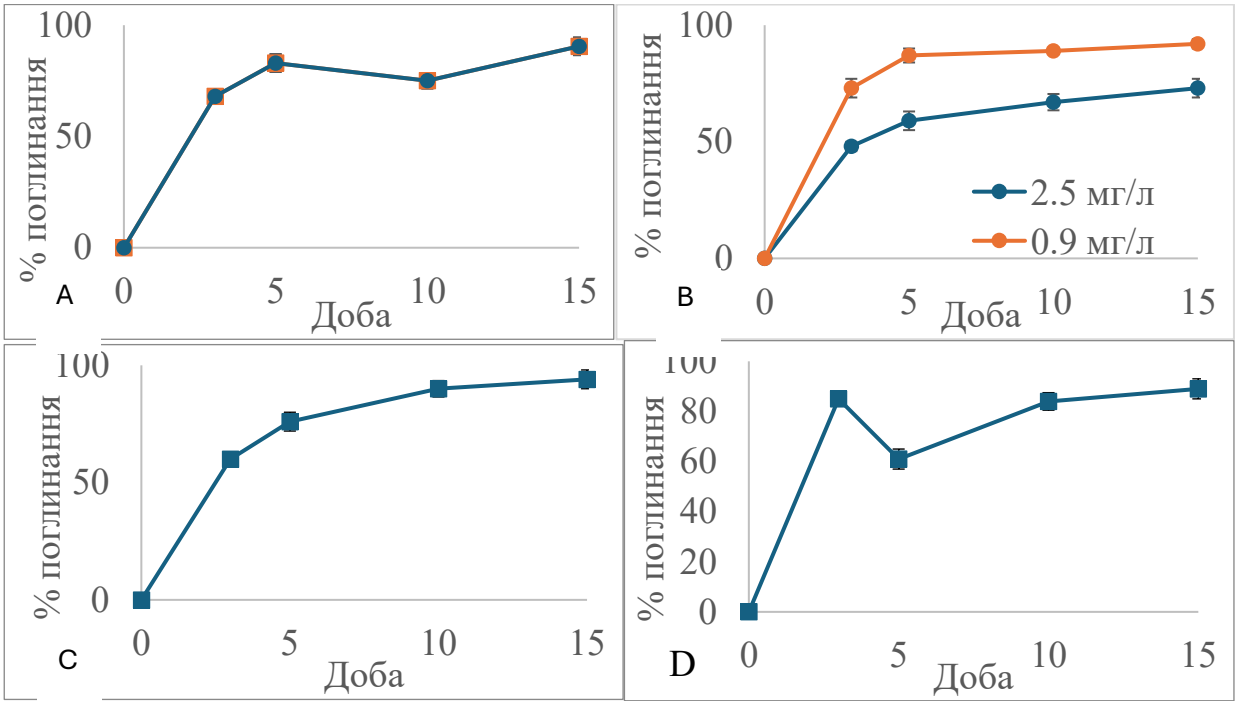


Рис. 1. **Динаміка поглинання важких металів A – міді, B – цинки, C – марганцю, D – хрому культурою *Chlorella vulgaris* після додавання у стічні води, % поглинутого важкого металу від початкової концентрації**

На третій добу культивування *Chlorella vulgaris* поглинає 68 % розчиненої міді, на п'яту добу концентрація міді зменшується до 83 %, але потім знову дещо збільшується на 10 добу (75 %). Найнижча концентрація міді зафіксована на 15 добу – 90,5 % міді абсорбовано.

У випадку цинку при додаванні культури *Chlorella vulgaris* до стічних вод з максимальною концентрацією металу (2500 мкг/л), максимальний рівень відсоток поглинання становив 70. Тому було вирішено провести додаткові дослідження зі зменшеною концентрацією цинку. При додаванні водорості до стічних вод отриманих на 16 ст. Фонтана (концентрація цинку 920 мкг/л), рівень поглинання становив 92 %. Для досягнення практично максимального рівня поглинання було достатньо 5 діб. На відміну від міді для цинку не спостерігалось зворотного підвищення концентрації після перших 5 діб культивації.

Характер динаміки зміни концентрації марганця при додаванні культури *Chlorella vulgaris* подібний до відповідної динаміки для цинку. Вперши п'ять діб відбувається поглинання більшості металу, абсорбується 76 %, після чого швидкість абсорбції помітно знижується і на 15 добу додатково абсорбується ще 18 % марганцю. Хоча по ГДК концентрація марганцю була в 4 рази вище норми (концентрація цинку перевищувала ГДК в 2,4 рази), абсолютні кількості цього металу були невеликі – 0,24 мг/л, що помітно відрізняє його від цинку.

Поглинання хрому культурою *Chlorella vulgaris* мало свої особливості. На третю добу поглиналося 85 % всього хрому з суміші. Після чого, на 5 добу частина хрому зворотно поверталася (кількість поглинутого хрому

зменшувалася до 61 %). Надалі відбувалося повторна реабсорбція і на 15 з суміші видалялось 89 % хрому.

Отримані нами дані підтверджуються здатність *Chlorella vulgaris* ефективно видаляти іони важких металів з стічних вод. Літературними дані також свідчать, що культура *Chlorella vulgaris* здатна зменшувати концентрації таких металів як нікелю, кадмію, кобальту, міді, хрому, свинцю, алюмінію, цинку, ртуті та навіть оксиду урану. Але в тих же дослідженнях згадується, що ефективність абсорбції залежить від ряду факторів: pH середовища, іонної сили розчину, початкової концентрації важкого металу, який абсорбується [24]. Експериментальне використання більш ніж 14 видів різних одноклітинних водоростей показало, що саме *Chlorella vulgaris* є одним з найбільш ефективних абсорбуючих організмів [25]. Первинні механізми пов'язані зі зменшенням концентрації важких металів пов'язані з формування електростатичних взаємодій між металевими іонами та зарядами органічними молекул зовнішньої поверхні мембрани водоростей. Це призводить до абсорбції металів на поверхні клітини переважно на ділянках зв'язування. Слід вказати, що подібний механізм має обмеження пов'язані з кінцевістю розмірів мембрани та вільних місць для зв'язування. Також при загибелі клітини відбувається швидке зворотне надходження металу до водного середовища. Наступним етапом поглинання є проходження металу крізь біологічну мембрану та потрапляння всередину клітини де він може як накопичуватися, біоакумулюватися, так і зазнавати хімічних перетворень внаслідок біотрансформації. Як вже зазначалося одним найголовніших обмежуючих факторів виступає концентрація метала у водному середовищі. При критичних значеннях відбувається переповнення мембранних депо, а внутрішньоклітинний пул металу починає завдавати токсичних ефектів, що призводить до зупинки росту і можливої загибелі мікроорганізму [26].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведена робота показала, що використання мікрокультури *Chlorella vulgaris* може бути ефективним методом очистки стічних вод від важких металів. Водорость здатна поглинати більшу частину розчинних іонів міді, цинку, хрому та марганцю протягом перших п'яти діб. Здатність до поглинання у значній мірі залежить від початкової концентрації важкого металу. Подальші дослідження використання *Chlorella vulgaris* для очистки стічних вод дозволяє розробити ефективні біотехнологічні методики покращення хімічної якості стоків, що надходять до природних водойм.

Конфлікт інтересів.

Один з авторів є членом редакційної колегії (головний редактор). Він не приймав участь в первинній оцінці щодо відповідності вимогам видання, організації рецензування, обговореннях щодо формування випуску та не впливав на можливість публікації роботи будь-яким іншим чином.

Фінансування.

Робота була виконана в рамках фінансування міжнародного проєкту «Interreg VI-B NEXT Black Sea Basin Programme».

Список літератури

1. Bertrand-Krajewski J.-L., Bournique R., Lecomte V. et al. SIPIBEL observatory: data on usual pollutants (solids, organic matter, nutrients, ions) and micropollutants (pharmaceuticals, surfactants, metals), biological and ecotoxicity indicators in hospital and urban wastewater, in treated effluent and sludge from wastewater treatment plant, and in surface and groundwater. Data in Brief. 2022. Vol. 40. Article 107726.
2. G`kHe D., Ôeftaliciolu M.D., Erden B.A., K`ytepe S. Chronic and acute water-soluble microplastics uptake and effects on growth and reproduction of daphnia magna. Water, Air & Soil Pollution. 2022. Vol. 233. Article 434.
3. Kaur S., Kaur S., Thakur B., Narwat N. Microalgae-based bioremediation of emerging contaminants: techniques, recent developments, and future perspectives. Archives Microbiol. 2026. Vol. 208. Article 29
4. Randhavane Shrikant B., Madaan S. Cultivation and potential application of microalgae in treatment of Pesticide Manufacturing Effluent. Materials Today: Proceed. 2021. Vol. 43, Part 2. P. 1944-1948
5. GrandclJment C., Seyssiecq I., Piram A. et al. From the conventional biological wastewater treatment to hybrid processes, the evaluation of organic micropollutant removal: a review. Water Research. 2017. Vol. 111. P. 297-317.
6. Òkufca D., Kovai A., Prosenc F. et al. Phycoremediation of municipal wastewater: removal of nutrients and contaminants of emerging concern. Sci. Total Environ. 2021. Vol. 782. Article 146949.
7. Devarajan G., Ilango S., Vetrivel A., Nithya T.G. Systematic review on role of microorganisms in bioremediation. Sustainable Environmental Remediation: Avenues in Nano and Biotechnology. Cham: Springer, 2025. P. 479-499. (Environmental Science and Engineering).
8. Randhavane Shrikant B., Madaan S. Cultivation and potential application of microalgae in treatment of Pesticide Manufacturing Effluent. Materials Today: Proceed. 2021. Vol. 43, Part 2. P. 1944-1948.
9. Springer Collection Pollution, Bioremediation and the Environment: thematic collection of scientific articles. Springer Link. URL: https://link.springer.com/collections/jebjdiccdf (14.10.2025).
10. Базаєва А.М., Чужма Н.П., Савенко Н.М. Фітопланктон вирощувального ставу за умов внесення органічного добрива. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: 2015 рік: Матеріали VIII Міжнар. наук. конф., 2015 р. Дніпро: Ліра, 2015. С. 69-71.
11. Liu R., Li S., Tu Y. et al. Capabilities and mechanisms of microalgae on removing micropollutants from wastewater: a review. J. Environ. Management. 2021. Vol. 285. Article 112149.
12. Rogowska J., Cieszynska-Semenowicz M., Ratajczyk W. et al. Micropollutants in treated wastewater. Ambio. 2020. Vol. 49, N 2. P. 487-503.
13. Wilt A., Butkovskyi A., Tuantet K. et al. Micropollutant removal in an algal treatment system fed with source separated wastewater streams. Journal of Hazardous Materials. 2016. Vol. 304. P. 84-92.
14. Gatidou G., Anastopoulou P., Aloupi M. et al. Growth inhibition and fate of benzotriazoles in Chlorella sorokiniana cultures. Sci. Total Environ. 2019. Vol. 663.
P. 580-586
15. Escudero A., Hunter C., Roberts J. et al. Pharmaceuticals removal and nutrient recovery from wastewaters by Chlamydomonas acidophila. Biochem. Engineer. J. 2020. Vol. 156. Article 107517.
16. Bellido-Pedraza C. M., Torres M. J., Llamas A. The microalgae Chlamydomonas for bioremediation and bioproduct production. Cells. 2024. Vol. 13, N 13. Article 1137.
17. Frascaroli G., Hunter C., Roberts J. et al. Antibiotic removal by three promising microalgae strains: biotic, abiotic routes, and response mechanisms. Water, Air & Soil Pollution. 2024. Vol. 235. Article 600.
18.Wang Q., Liu W., Li X. et al. Carbamazepine toxicity and its co-metabolic removal by the cyanobacter*ia Spirulina platensis*. *Sci. Total Environ.* 2020. Vol. 706. Article 135686.

19. Xiong Q., Liu Y.-S., Hu L.-X. et al. Co-metabolism of sulfamethoxazole by a freshwater microalga *Chlorella pyrenoidosa*. *Water Research*. 2020. Vol. 175. Article 115656.
20. Горшкова О. Г., Гудзенко Т. В., Волювач О. В. та ін. Очищення води від фенолу та іонів важких металів асоціацією бактерій роду Pseudomonas. Мікробіологія і біотехнологія. 2018. № 2 (42). С. 70-80.
21. Суходольська І. Л., Мазур А. І. Акумуляція важких металів вищими водними рослинами різних екологічних груп. Науковий вісник НЛТУ України. 2022. Т. 32, № 6. С. 45-52.
22. Шило Д. О., Клімкіна І. І. Дослідження впливу важких металів на фізіологічну активність Chlorella vulgaris та її здатність до біоакумуляції. Екологічні науки. 2022. № 6 (45). С. 158-161.
23. Danovaro R., Cocozza di Montanara A., Corinaldesi C. et al. Bioaccumulation and biomagnification of heavy metals in marine micro-predators. *Communications Biology.* 2023. Vol. 6. Article 1206.
24. Greene, B. (1984, April). Removal of heavy metal ions from contaminated waters by Chlorella vulgaris. In Proceedings of the 28th Annual New Mexico Water Conference, Las Cruces, NM (pp. 103-115).
25. Dinesh Kumar, S., Santhanam, P., Jayalakshmi, T., Nandakumar, R., Ananth, S., Devi, A. S., & Prasath, B. B. (2015). Excessive nutrients and heavy metals removal from diverse wastewaters using marine microalga Chlorella marina (Butcher). Indian J. Mar. Sci, 44(1).
26. Manzoor, F., Karbassi, A., & Golzary, A. (2019). Removal of heavy metal contaminants from wastewater by using Chlorella vulgaris Beijerinck: A review. Current Environmental Management (Formerly: Current Environmental Engineering), 6(3), 174-187.

Yuriy Boiko
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
Odessa State Agrarian University
ORCID ID: 0000-0002-3387-0219
e-mail: yuriyalexb@gmail.com

Irina Boiko
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor
Odessa National Medical University
ORCID ID: 0000-0002-3101-8540
e-mail: i.boyko.od@gmail.com

WATER PURIFICATION FROM HEAVY METALS USING CHLORELLA VULGARIS CULTURE

Abstract

Despite the large number of existing wastewater treatment technologies (industrial, land reclamation, domestic), the final chemical composition of wastewater entering natural reservoirs can pose a threat to their ecological state. The aim of the work was to study the use of Chlorella vulgaris microculture for wastewater treatment from soluble forms of heavy metals. The Chlorella vulgaris culture was grown in glass bioreactors on Tamiya nutrient medium. The lighting mode was constant, artificial. The bubbling was: air - from 0.05 ppm to 0.1 ppm, carbon dioxide - from 0.01 ppm to 0.05 ppm. The resulting concentrated culture was added to the volume of wastewater in a ratio of 1:5, the concentration of Chlorella vulgaris in the introduced solution was 5 x 107 cells/ml. The resulting mixture was kept for 15 days, measuring the concentration of copper, zinc, manganese and chromium on the 3rd, 5th, 10th and 15th day. It was found that in the first 5 days, the Chlorella vulgaris culture absorbed more than 50% of the initial amount of each heavy metal. At the same time, the absorption intensity depended on the initial metal concentration; when it increased to toxic values for Chlorella

vulgaris, the absorption process was noticeably slowed down. At a zinc concentration of 2.5 mg/l, on the fifth day 1.5 times less metal ions were absorbed than in the case of a concentration of 0.9 mg/l. The effect of a repeated increase in the chromium concentration on the fifth day was also recorded, which we associate with the mechanisms of its absorption on the outer surface of the Chlorella vulgaris membrane. The study showed that the use of Chlorella vulgaris can become the basis of a highly effective biotechnological method for wastewater treatment from heavy metals.

Keywords: *Chlorella vulgaris, heavy metals, wastewater.*

Reference

1. Bertrand-Krajewski J.-L., Bournique R., Lecomte V. et al. SIPIBEL observatory: data on usual pollutants (solids, organic matter, nutrients, ions) and micropollutants (pharmaceuticals, surfactants, metals), biological and ecotoxicity indicators in hospital and urban wastewater, in treated effluent and sludge from wastewater treatment plant, and in surface and groundwater. Data in Brief. 2022. Vol. 40. Article 107726.
2. G`kHe D., Ôeftaliciolu M.D., Erden B.A., K`ytepe S. Chronic and acute water-soluble microplastics uptake and effects on growth and reproduction of daphnia magna. Water, Air & Soil Pollution. 2022. Vol. 233. Article 434.
3. Kaur S., Kaur S., Thakur B., Narwat N. Microalgae-based bioremediation of emerging contaminants: techniques, recent developments, and future perspectives. Archives Microbiol. 2026. Vol. 208. Article 29
4. Randhavane Shrikant B., Madaan S. Cultivation and potential application of microalgae in treatment of Pesticide Manufacturing Effluent. Materials Today: Proceed. 2021. Vol. 43, Part 2. P. 1944-1948
5. GrandclJment C., Seyssiecq I., Piram A. et al. From the conventional biological wastewater treatment to hybrid processes, the evaluation of organic micropollutant removal: a review. Water Research. 2017. Vol. 111. P. 297-317.
6. Òkufca D., Kovai A., Prosenc F. et al. Phycoremediation of municipal wastewater: removal of nutrients and contaminants of emerging concern. Sci. Total Environ. 2021. Vol. 782. Article 146949.
7. Devarajan G., Ilango S., Vetrivel A., Nithya T.G. Systematic review on role of microorganisms in bioremediation. Sustainable Environmental Remediation: Avenues in Nano and Biotechnology. Cham: Springer, 2025. P. 479-499. (Environmental Science and Engineering).
8. Randhavane Shrikant B., Madaan S. Cultivation and potential application of microalgae in treatment of Pesticide Manufacturing Effluent. Materials Today: Proceed. 2021. Vol. 43, Part 2. P. 1944-1948.
9. Springer Collection Pollution, Bioremediation and the Environment: thematic collection of scientific articles. Springer Link. URL: https://link.springer.com/collections/jebjdiccdf (14.10.2025).
10. Bazaeva A.M., Chuzhma N.P., Savenko N.M. Phytoplankton of a growing pond under conditions of organic fertilizer application. Biodiversity and the role of animals in ecosystems: 2015: Proceedings of the VIII International Scientific Conference, 2015. Dnipro: Lira, 2015. P. 69-71.
11. Liu R., Li S., Tu Y. et al. Capabilities and mechanisms of microalgae on removing micropollutants from wastewater: a review. J. Environ. Management. 2021. Vol. 285. Article 112149.
12. Rogowska J., Cieszynska-Semenowicz M., Ratajczyk W. et al. Micropollutants in treated wastewater. Ambio. 2020. Vol. 49, N 2. P. 487-503.
13. Wilt A., Butkovskyi A., Tuantet K. et al. Micropollutant removal in an algal treatment system fed with source separated wastewater streams. Journal of Hazardous Materials. 2016. Vol. 304. P. 84-92.
14. Gatidou G., Anastopoulou P., Aloupi M. et al. Growth inhibition and fate of benzotriazoles in Chlorella sorokiniana cultures. Sci. Total Environ. 2019. Vol. 663.
P. 580-586

15. Escudero A., Hunter C., Roberts J. et al. Pharmaceuticals removal and nutrient recovery from wastewaters by Chlamydomonas acidophila. Biochem. Engineer. J. 2020. Vol. 156. Article 107517.
16. Bellido-Pedraza C. M., Torres M. J., Llamas A. The microalgae Chlamydomonas for bioremediation and bioproduct production. Cells. 2024. Vol. 13, N 13. Article 1137.
17. Frascaroli G., Hunter C., Roberts J. et al. Antibiotic removal by three promising microalgae strains: biotic, abiotic routes, and response mechanisms. Water, Air & Soil Pollution. 2024. Vol. 235. Article 600.
18.Wang Q., Liu W., Li X. et al. Carbamazepine toxicity and its co-metabolic removal by the cyanobacte*ria Spirulina platensis*. *Sci. Total Environ.* 2020. Vol. 706. Article 135686.
19. Xiong Q., Liu Y.-S., Hu L.-X. et al. Co-metabolism of sulfamethoxazole by a freshwater microalga *Chlorella pyrenoidosa*. *Water Research*. 2020. Vol. 175. Article 115656.
20. Gorshkova O. G., Gudzenko T. V., Volyuvach O. V. et al. Water purification from phenol and heavy metal ions by an association of bacteria of the genus Pseudomonas. Microbiology and Biotechnology. 2018. No. 2 (42). P. 70-80.
21. Sukhodolska I. L., Mazur A. I. Accumulation of heavy metals by higher aquatic plants of different ecological groups. Scientific Bulletin of the National University of Technology of Ukraine. 2022. Vol. 32, No. 6. P. 45-52.
22. Shylo D. O., Klimkina I. I. Research on the influence of heavy metals on the physiological activity of Chlorella vulgaris and its ability to bioaccumulate. Ecological Sciences. 2022. No. 6 (45). P. 158-161.
23. Danovaro R., Cocozza di Montanara A., Corinaldesi C. et al. Bioaccumulation and biomagnification of heavy metals in marine micro-predators. *Communications Biology.* 2023. Vol. 6. Article 1206.
24. Greene, B. (1984, April). Removal of heavy metal ions from contaminated waters by Chlorella vulgaris. In Proceedings of the 28th Annual New Mexico Water Conference, Las Cruces, NM (pp. 103-115).
25. Dinesh Kumar, S., Santhanam, P., Jayalakshmi, T., Nandakumar, R., Ananth, S., Devi, A. S., & Prasath, B. B. (2015). Excessive nutrients and heavy metals removal from diverse wastewaters using marine microalga Chlorella marina (Butcher). Indian J. Mar. Sci, 44(1).
26. Manzoor, F., Karbassi, A., & Golzary, A. (2019). Removal of heavy metal contaminants from wastewater by using Chlorella vulgaris Beijerinck: A review. Current Environmental Management (Formerly: Current Environmental Engineering), 6(3), 174-187.

Стаття надійшла до редакції 20.07.2026
Стаття пройшла рецензування 19.08.2026
Стаття опублікована 30.09.2026