

Тетяна Кот,

доктор ветеринарних наук, професор, професор кафедри
внутрішньої патології та морфології

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

ORCID ID: 0000-0003-0448-2097

e-mail: tkotvet@ukr.net

Світлана Гуральська,

доктор ветеринарних наук, професор, завідувач кафедри
внутрішньої патології та морфології

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

ORCID ID: 0000-0001-7383-1989

e-mail: guralaska@ukr.net

В'ячеслав Захарін,

кандидат ветеринарних наук, доцент, доцент кафедри
внутрішньої патології та морфології

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

ORCID ID: 0000-0002-4157-644X

e-mail: zakharin35@ukr.net

Людмила Євтух,

кандидат ветеринарних наук, доцент, доцент кафедри
внутрішньої патології та морфології

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

ORCID ID: 0000-0003-3116-3980

e-mail: kludavet@gmail.com

Олег Пінський,

кандидат ветеринарних наук, доцент, доцент кафедри
внутрішньої патології та морфології

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

ORCID ID: 0000-0002-1987-5261

e-mail: pinsky.o.v@ukr.net

Вікторія Шнайдер,

кандидат ветеринарних наук, доцент, доцент кафедри
внутрішньої патології та морфології

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

ORCID ID: 0000-0002-9568-0808

e-mail: shnaider121182@gmail.com

ВЕТЕРИНАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОЦІНКА БЛАГОПОЛУЧЧЯ РИБ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ І АКВАКУЛЬТУРІ (Оглядова стаття)

Анотація

У сучасних умовах розвитку аквакультури та зростання ролі риб у наукових дослідженнях питання забезпечення їхнього благополуччя набуває особливої уваги. Відсутність чітко врегульованих стандартів утримання риб ускладнює впровадження етичних практик і знижує ефективність систем вирощування. Водночас сучасні ветеринарні технології відкривають нові можливості для моніторингу, профілактики, лікування захворювань, що безпосередньо впливає на здоров'я, продуктивність та екологічну стійкість рибних популяцій.

Мета роботи – узагальнити сучасні наукові підходи до оцінки благополуччя риб у контексті аквакультури та експериментальних досліджень, а також проаналізувати роль і значення ветеринарних технологій у забезпеченні здоров'я, продуктивності та екологічної стійкості рибних популяцій. Було проведено аналіз наукових публікацій, розміщених у міжнародних базах даних, а також у спеціалізованих ветеринарних та іхтіологічних виданнях, опублікованих протягом останніх п'яти років. Використано принципи критичного аналізу, систематизації та узагальнення інформації з різноманітних джерел, а також методи логічного й структурованого викладу матеріалу.

У статті представлено огляд сучасних ветеринарних технологій та підходів до оцінки благополуччя риб у наукових дослідженнях і аквакультурі. Розглянуто ключові фактори, що впливають на благополуччя риб, зокрема фізико-хімічні параметри води, щільність посадки, соціальну поведінку, структурну складність середовища. Проаналізовано міжнародні стандарти та концепції, які формують етичні та правові засади утримання водних тварин. Особливу увагу приділено ролі ветеринарних технологій у моніторингу здоров'я, діагностиці, профілактиці та лікуванні захворювань, а також у впровадженні інноваційних методів підтримання сталих аквакультурних систем. Показано, що інтеграція біомаркерів, автоматизованих систем контролю та гуманних методів утримання сприяє підвищенню продуктивності, якості продукції та екологічної безпеки.

Стаття має аналітичну та теоретичну цінність, оскільки узагальнює міждисциплінарні підходи до оцінки благополуччя риб і ролі ветеринарних технологій у формуванні сталих аквакультурних систем.

Ключові слова: *організм риб; показники благополуччя; п'ять свобод тварин; дослід та експеримент; діагностика, лікування і профілактика хвороб риб; гуманне поводження.*

Вступ. Аквакультура є масштабною галуззю промислового виробництва, яка не тільки збагачує раціон людини високоякісними продуктами харчування, а й сприяє відновленню популяцій риб як із комерційною, так і природоохоронною метою [13]. Важливе значення в аквакультурі набуває оцінка благополуччя риб. З етичних та практичних міркувань під час розведення рибу слід утримувати без страждань і в середовищі, наближеному до природного, щоб забезпечити успішну реалізацію програм поповнення популяцій [29].

Риби широко використовуються як модельні об'єкти у наукових дослідженнях, адже вони мають низку практичних переваг порівняно із ссавцями та іншими хребетними [2, 8]. Попри значне біорізноманіття, риби

демонструють численні структурні та фізіологічні гомології з людиною, від будови органів і клітинної структури до схожості геномів [52, 82, 90]. Як моделі хребетних, риби використовуються в екологічних дослідженнях для оцінки потенційного впливу глобального потепління та забруднення довкілля [4]. Доведено, що підвищення температури води впливає на здоров'я, поведінку та фізичний стан риб, підсилює поглинання токсичних речовин, присутніх у навколишньому середовищі, а також змінює імунну активність, репродуктивну функцію та виживання ікри [50, 101].

В Україні питання благополуччя риб наразі не врегульоване законодавчо, за винятком окремих аспектів, що стосуються умов їх утримання, правил рибальства та санітарних норм. Загалом чинна нормативна база залишається надто загальною й лаконічною [56]. Благополуччя риб тісно пов'язане з розвитком ветеринарних технологій, адже саме вдосконалення діагностичних, профілактичних і лікувальних методів визначає рівень здоров'я популяцій у системах аквакультури [30]. Сучасні ветеринарні підходи дають змогу своєчасно виявляти захворювання за допомогою біомаркерів, молекулярної діагностики та автоматизованого моніторингу фізіологічних показників. Ці технології спрямовані не лише на лікування, а й на створення оптимальних умов утримання, зниження впливу стресових чинників і підвищення імунної стійкості риб. Крім того, використання біопрепаратів, пробіотиків, фітотерапевтичних засобів і вакцин нового покоління сприяє формуванню сталих аквакультурних систем, у яких здоров'я риб безпосередньо впливає на їхню продуктивність, якість продукції та екологічну безпеку водойм. Отже, ветеринарні технології виступають ключовою ланкою між біологічним благополуччям риб і ефективністю сучасного рибництва [38, 48].

Забезпечення благополуччя риб, що утримуються в дослідницьких лабораторіях і на аквакультурних фермах, є складним завданням через значну кількість видоспецифічних чинників, які необхідно враховувати, встановлювати та контролювати. До них належать фізико-хімічні параметри води, показники фізіологічного стану, структурна складність середовища, щільність популяції, а також особливості кормової й соціальної поведінки тварин [3, 79].

Таким чином, оцінка благополуччя риб у поєднанні з упровадженням сучасних ветеринарних технологій є невід'ємною складовою розвитку сталих аквакультурних систем і проведення наукових досліджень. Комплексний підхід, що охоплює етичні, біологічні, технологічні та правові аспекти, дозволяє не лише підвищити продуктивність і якість аквакультурної продукції, а й забезпечити високий рівень благополуччя тварин. Подальше вдосконалення методів моніторингу, профілактики та лікування риб сприятиме формуванню ефективних стратегій управління здоров'ям популяцій, що є ключем до підвищення екологічної стійкості та конкурентоспроможності галузі аквакультури в Україні та світі.

Мета. Узагальнити сучасні наукові підходи до оцінки благополуччя риб у контексті аквакультури та експериментальних досліджень, а також проаналізувати роль і значення ветеринарних технологій у забезпеченні здоров'я, продуктивності та екологічної стійкості рибних популяцій.

Для підготовки огляду здійснено електронний пошук та аналіз публікації з міжнародних баз даних (Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar), а також профільних ветеринарних та іхтіологічних журналів. Додатково враховано матеріали міжнародних організацій (FAO, OIE, EFSA), що регламентують стандарти благополуччя водних тварин. Під час пошуку наукових публікацій використано ключові слова: «благополуччя риб», «аквакультура», «біобезпека у водних системах», «технології годівлі та утримання», «системи контролю якості води», «етологічні індикатори», «стресові реакції у риб», «моніторинг здоров'я», «моніторинг фізіологічних показників», «експериментальні моделі в іхтіології», «іхтіопатологія», «біомаркери здоров'я», «клінічна діагностика у водних тварин», «профілактика захворювань», «імунологічні тести», «інноваційні методи лікування», «гуманні методи утримання», «етичні стандарти у ветеринарії». Пошукова стратегія передбачала використання різних комбінацій зазначених ключових слів. Для забезпечення актуальності аналізу до огляду включено наукові праці, опубліковані переважно протягом останніх п'яти років. Під час підготовки статті застосовано принципи критичного аналізу, систематизації та узагальнення даних із різних джерел, а також методи логічного та структурованого викладу матеріалу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Поняття про благополуччя риб. Поняття «благополуччя» стосується фізичного здоров'я тварини та уникнення тривалого стресу [57]. Європейські підходи до забезпечення благополуччя тварин ґрунтуються на міжнародно визнаному принципі «П'яти свобод», концепції «Єдине здоров'я» та міждисциплінарному підході до поводження з тваринами. Значну увагу приділено нормативно-правовим засадам Європейського Союзу, які регулюють умови утримання тварин у сільському господарстві, наукових дослідженнях, ветеринарній практиці та побуті [12].

Відповідно до принципу «П'яти свобод», тварина має бути: вільною від голоду, спраги та недоїдання, тобто забезпеченою питною водою та збалансованим раціоном; вільною від фізичного та теплового дискомфорту, маючи доступ до укриття від негоди та комфортного місця для відпочинку; вільною від болю, травм і хвороб завдяки профілактиці, своєчасній діагностиці та лікуванню; здатною виявляти притаманні виду форми поведінки завдяки достатньому простору, відповідним умовам і можливості соціальної взаємодії; вільною від страху та страждання, оскільки їй забезпечено умови, що запобігають психічним розладам [17, 70]. Загалом тварини повинні бути захищені від голоду, спраги, дискомфорту, болю, хвороб, страху та страждань, а також мати можливість вільно проявляти природну поведінку [17, 86]. При цьому дослідження індивідуальних

особливостей риб показують, що серед них існують значні відмінності у когнітивних здібностях, емоціях та уподобаннях, які визначають їхню «особистість» [93].

На думку Т. J. Gonzalez (2023), між благополуччям тварин і майже всіма аспектами фізичного життя людини існує тісний, хоча не завжди очевидний, взаємозв'язок [29]. Концепція «Єдине здоров'я» визнає, що здоров'я людей, тварин і екосистем є взаємопов'язаними, і вимагає координації між ветеринарною медициною, медициною людини, екологією та політикою. У контексті благополуччя тварин це передбачає профілактику зоонозів шляхом покращення умов утримання, зниження використання антибіотиків через підвищення імунної стійкості, етичне ставлення до тварин як частину стійкої продовольчої системи, а також моніторинг їхнього благополуччя як індикатора екологічного та соціального здоров'я. Впровадження системного й ефективного підходу в межах цієї концепції сприятиме досягненню Цілей сталого розвитку ООН до 2030 року [17].

Благополуччя риб є важливим у двох основних контекстах – лабораторних дослідженнях і аквакультурному виробництві. Незважаючи на наявність спільних елементів, ці сфери суттєво різняться за масштабом, цілями, умовами утримання, видовим складом та кількістю риби, що перебуває в неволі [53]. За даними J. Sánchez-Velázquez *et al.* (2024), усі параметри довкілля, що використовуються для оцінки благополуччя риб, поділяються на дві основні категорії: абіотичні фактори (якість води, освітлення, шум) та біотичні фактори (щільність посадки, структурна складність середовища, годівля, поведінкові особливості). Рівень можливості моніторингу, контролю та стандартизації цих параметрів істотно відрізняється між лабораторними умовами й аквакультурними системами, що зумовлено передусім різницею у масштабах досліджень. Якщо системи аквакультури (водні, наземні, рециркуляційні або інтегровані із сільським господарством) зорієнтовані на підтримання великих обсягів води та функціонування мезокосмічних систем, то лабораторні експерименти здебільшого проводяться в умовах експериментальних резервуарів, тобто мікрокосмів [14, 35].

Показники благополуччя риб. Показники, рекомендовані для оцінки благополуччя риб у наукових дослідженнях та аквакультурі, охоплюють такі основні категорії, як використання простору, вибір середовища існування та його структурна складність, поведінка під час пошуку їжі та зміни у споживанні корму, прояви агресії до особин свого виду, просторово-часові моделі поведінки, зміни у використанні водної товщі, активність плавання, згуртованість задля уникнення хижаків та порушення циркадного ритму [3, 9].

Фізичні показники благополуччя риб включають зовнішній вигляд, поведінку та фізіологічні параметри. Зовні здорова риба характеризується яскравим, насиченим забарвленням, гладкою шкірою з неущожденою лускою, блискучими очима, рухливими плавцями та чистими зябрами без

ознак запалення. Її поведінка має бути активною, типовою для виду, без проявів надмірної збудженості або апатії. Фізіологічно здорова риба має нормальний апетит, добре засвоює корм, не має виразок чи наростів на тілі, а дихання залишається рівномірним [67].

Відсутність голоду, болю, дискомфорту та страху можна визначити за метаболічними, продуктивними, анатомічними, поведінковими та фізіологічними показниками. Оцінка благополуччя риб на основі аналізу крові або тканин зазвичай потребує інвазивного відбору проб. Тому розробка фізичних і поведінкових критеріїв дозволяє оцінювати стан благополуччя за допомогою неінвазивного спостереження. Складність моніторингу риб залежить від умов утримання, зокрема лабораторних чи аквакультурних, і визначається низкою чинників: розміром риб, типом акваріума або клітки, каламутністю й глибиною води, щільністю посадки та рівнем освітлення. Сьогодні для непомітного контролю за станом риб дедалі частіше застосовують підводні камери з дистанційним керуванням і зум-об'єктивами. Такий підхід забезпечує точніше оцінювання фізичних і поведінкових показників, адже спостереження без наближення до акваріума запобігає спотворенню результатів через природну лякливість риб [63].

Хіміко-фізичні характеристики води мають вирішальне значення для життя риб, оскільки їхні біологічні рідини тісно взаємодіють із водним середовищем [11]. До ключових параметрів, що впливають на благополуччя риб, належать температура, концентрація розчинених газів, рН, солоність, а також наявність аміаку, сечовини та антропогенних забруднювачів, таких як важкі метали, пестициди та нітрати [18, 59, 66]. Інші важливі чинники – освітлення, шум і вібрації, які також істотно впливають на стан риб [53]. У природному середовищі риби можуть мігрувати до ділянок із оптимальними параметрами води, тоді як у лабораторних і виробничих умовах такої можливості немає. Тому надзвичайно важливо підтримувати стабільні гідрохімічні показники, що відповідають оптимальному рівню благополуччя риб.

A. Sarwar & M. T. Iqbal (2022) вважають, що для офшорних аквакультурних господарств необхідна система безперервного моніторингу якості води в реальному часі. Запропонована ними технологія передбачає використання чотирьох основних сенсорів – для вимірювання рівня води, температури, рН та концентрації розчиненого кисню. Усі датчики під'єднані до мікроконтролера Arduino Uno R3 і Wi-Fi-модуля ESP8266, які передають зібрані дані на хмарну платформу ThingSpeak. Така система забезпечує онлайн-доступ до показників якості води через вебінтерфейс або мобільний застосунок, що значно полегшує роботу аквафермерів і підвищує ефективність управління господарством [80].

Складність навколишнього середовища є важливим параметром, який необхідно враховувати під час проєктування акваріумів і систем аквакультури [86]. Структурне збагачення середовища здатне змінювати поведінку риб і позитивно впливати на їхній благополуччя і здоров'я,

зменшуючи вплив стресових чинників – із ефектом, порівнянним із дією антидепресантів чи анксиолітиків [92]. За даними Р. Arechavala-López *et al.* (2021), збагачення середовища може стимулювати розвиток мозку, покращувати когнітивні здібності та підвищувати ефективність пошуку їжі у вирощуваних риб [5]. Як зазначають J. Eidsmo *et al.* (2023), наявність укриттів у басейнах сприяє зниженню конкуренції, агресивності та рівня стресу [23]. Водночас властивості субстрату, зокрема колір дна, також мають позитивний вплив на благополуччя риб [5]. Однак, як зазначають А. Kleiber *et al.* (2023), деякі побічні ефекти збагачення середовища мають і негативні наслідки для аквакультури та досліджень. Тому необхідно ретельно вивчати вплив різних типів збагачення, застосовуючи такі протоколи лише тоді, коли доведено, що вони покращують поведінкові та фізіологічні показники риб, які утримуються в неволі [43]

Щільність посадки, поведінка під час пошуку їжі та соціальні взаємодії тісно пов'язані між собою. Рівень агресії в популяції визначається соціальною структурою виду, яка часто поєднує елементи ієрархії домінування та територіальності. Агресивна поведінка вимагає значних енергетичних витрат, може порушувати метаболічні та імунні функції, що в підсумку призводить до підвищеного рівня стресу [81]. Вона також є ключовим чинником у формуванні територіальної поведінки, визначенні міжіндивідуальної дистанції та частоті травм [27]. Фактор щільності посадки потребує особливо ретельного врахування як в аквакультурі, так і в лабораторних умовах. Дослідження просторових моделей поведінки риб залежно від щільності показали, що активність плавання є надійним індикатором стресу, схильності до уникання скупчення, зниження темпів росту та підвищених енергетичних витрат [6].

Поведінка під час пошуку їжі – одна з найскладніших тем у дослідженнях з аквакультури. Як зазначають М. Dara *et al.* (2023), створення універсальної стратегії годівлі для всіх видів вирощуваних риб є надзвичайно складним завданням. Тактика й стратегія годування залежать від численних видоспецифічних чинників, серед яких ритми живлення, співвідношення корму та час його подачі [17]. У цілому, системи самостійного годування позитивно впливають на благополуччя риб, оскільки дають змогу самим регулювати час і обсяг споживання корму [89].

Дані про соціальну поведінку риб вирощуваних видів необхідно інтегрувати для оптимального визначення кількості особин та регулювання рівня агресивності відповідно до наявного простору. Соціальні системи багатьох видів риб базуються на ієрархічних стосунках, а щільність посадки разом із доступністю та розподілом корму істотно впливають на інтенсивність соціальних контактів, що, у свою чергу, змінює моделі плавання. Отже, харчова поведінка та щільність посадки мають розглядатися у взаємозв'язку з особливостями соціальної поведінки кожного виду для коректної оцінки рівня їхнього благополуччя [77].

Сучасні ветеринарні технології. Сучасні ветеринарні технології зосереджені на моніторингу здоров'я риб, діагностиці, профілактиці та лікуванні хвороб, а також на впровадженні гуманних методів забою [38, 48]. Моніторинг здоров'я дає змогу проводити біохімічні, гематологічні та мікробіологічні аналізи для раннього виявлення патологій, що сприяє стабільному росту популяцій, запобіганню спалахам захворювань і поліпшенню умов утримання.

Діагностика хвороб риб. Діагностика хвороб риб є ключовим елементом системи біобезпеки та управління здоров'ям риб, оскільки сприяє зменшенню втрат і підвищенню рівня благополуччя [37, 96]. ФАО та НАСА визначають три рівні діагностики водних тварин – базовий, проміжний та передовий, які поєднують традиційні та високотехнологічні методи для забезпечення максимальної точності результатів [32, 51]. Візуальна діагностика варіює від класичних методів спостереження за змінами у поведінці та зовнішньому вигляді риб до застосування дистанційного зондування за допомогою дронів та штучного інтелекту [51]. Біосенсорні пристрої дозволяють у режимі реального часу відстежувати температуру тіла, рівень активності та інші фізіологічні параметри риб [17]. Мікроскопічні дослідження зразків шкіри, зябер, слизу чи калу є швидким і доступним методом для виявлення інфекційних і паразитарних хвороб [32, 36, 44].

Молекулярно-генетичні методи дають змогу проводити ранню діагностику захворювань, оцінювати рівень стресу та розробляти ефективні стратегії лікування й профілактики [33, 40, 37]. За даними К. К. Yadava *et al.* (2024), технологія секвенування нового покоління забезпечує швидке отримання великих обсягів даних про ДНК і РНК риб та інших водних організмів, дозволяє ідентифікувати збудників хвороб, аналізувати мікробіом водного середовища, відстежувати генетичне різноманіття та селекційні зміни в популяціях аквакультури [98]. Гематологічний і гемопоетичний аналіз є одним із найважливіших інструментів для оцінки впливу органічних і неорганічних речовин на риб. Ці методи широко застосовуються в екотоксикологічних та фармакотоксикологічних дослідженнях [97]. Дослідження на видах, таких як астінакс (*Astyanax altiparanae*), анабас (*Anabas testudineus*) та плямистий змієголов (*Channa punctatus*), показали, що гематологічні зміни можуть відображати як руйнівні наслідки токсичності (анемія, імуносупресія), так і компенсаторні реакції – підвищення кисневої ємності крові або запальні процеси [19, 49]. Зміни клітинного складу та активності кровотворної тканини можуть використовуватися як додаткові біомаркери, що доповнюють стандартні гематологічні тести [79]. Імунохроматографічний аналіз широко застосовується для виявлення вірусів, бактерій і паразитів [83, 88]. Ефективність цього методу доведено для діагностики синдрому білої плями, вірусного інфекційного гемопоетичного некрозу та вірусної геморагічної септицемії [42, 83]. Цей метод дає змогу проводити масовий скринінг зразків в інкубаторах, на рибних фермах і підприємствах з переробки водних біоресурсів.

Останніми роками спостерігається зростання кількості досліджень, присвячених застосуванню рентгенографії, мікрокомп'ютерної томографії та магнітно-резонансної томографії для аналізу скелетних структур риб [41, 64]. Ультразвукові та рентгенологічні методи використовуються переважно у наукових і клінічних цілях для діагностики внутрішніх патологій [7]. Ультразвук дає змогу досліджувати кістки, м'язи, сухожилля, зв'язки, суглоби, яєчники, сім'яники, серце та інші внутрішні органи [15]. Є дані, що ультразвукова візуалізація ефективно застосовується у відтворенні риб, зокрема для визначення статі та стадій розвитку гонад у таких видів, як кефаль (*Mugil liza*), бразильська сардина (*Sardinella brasiliensis*) та сичуанський таймень (*Hucho bleekeri*) [47, 62, 68]. Риби данію періо (*Danio rerio*) дедалі частіше використовуються як моделі для дослідження розвитку та захворювань людини [15].

Профілактика хвороб риб. Риби є вразливими до широкого спектра інфекційних та неінфекційних захворювань, які не лише спричиняють значні економічні втрати у сфері аквакультури, а й становлять потенційну загрозу для здоров'я людини [91, 98]. Аналіз епізоотичної ситуації в Україні за останні десять років свідчить, що інвазійні та інфекційні хвороби реєструються практично в усіх ставкових господарствах. Основними збудниками виступають бактерії родів *Aeromonas* (40%), *Pseudomonas* (28%), а також *Edwardsiella*, *Proteus*, *Yersinia*, *Flavobacterium* і *Micrococcus* (по 32%) [56].

Сучасні ветеринарні технології профілактики охоплюють розробку та застосування вакцин проти бактеріальних інфекцій, використання пробіотиків і біопрепаратів для підтримання мікробного балансу водного середовища, а також дезінфектантів для обробки обладнання й водойм. Завдяки цим підходам знижується рівень стресу та смертності риб, що безпосередньо підвищує рівень їх благополуччя [75, 98]. На сьогодні в аквакультурі застосовуються чотири основні типи вакцинних технологій: інактивовані цілюноклітинні вакцини, живі атенуовані вакцини, субодиничні вакцини та ДНК-вакцини. Відносно новим напрямом є мРНК-вакцини, розробка яких триває вже понад три десятиліття як альтернатива ДНК-вакцинам. Найчастіше для створення таких вакцин використовують віруси роду *Alphavirus*. Крім того, перспективним напрямом є синтетичні пептидні або епітопні вакцини, які вважаються удосконаленою формою субодиничних вакцин. Вони містять короткі синтетично синтезовані амінокислотні послідовності, розроблені для забезпечення високої імуногенності та стимуляції потужної імунної відповіді при введенні як вакцинних антигенів [1].

Лікування і терапевтичні підходи. Традиційні методи лікування захворювань у риб передбачають застосування антимікробних і хіміотерапевтичних засобів. Антибіотики використовуються переважно для лікування бактеріальних інфекцій, зокрема аеромонозу, псевдомонозу, флексибактеріозу тощо. До найпоширеніших груп антибіотиків належать

тетрациклінові (окситетрациклін, хлортетрациклін), фторхінолони (енрофлоксацин, норфлоксацин), сульфаніламід (сульфадиметоксин, триметоприм), а також макроліди й аміноглікозиди (еритроміцин, неоміцин) [24, 55]. До групи хіміотерапевтичних засобів належать препарати, ефективні проти паразитарних, грибкових та протозойних інфекцій. Формалін, малахітовий зелений і пероксид водню застосовують для лікування грибкових і паразитарних інвазій (іхтіофтіріоз, сапролегніоз), тоді як метиленовий синій ефективний проти грибкових уражень та використовується як антисептик для ікри. Левамізол і празиквантел – антипаразитарні засоби, що діють проти гельмінтів і найпростіших [20, 46]. Водночас застосування антибіотиків може мати довготривалий негативний вплив на ріст, здоров'я та якість тканин риб, а також спричинити накопичення залишкових речовин у м'язах, що не завжди легко виявити. Використання хіміотерапевтичних засобів потребує ретельного контролю дозування, оскільки перевищення концентрацій може призводити до стресу, порушення метаболічних процесів, ураження зябер і печінки. Останніми роками дослідники приділяють значну увагу пошуку, валідації та застосуванню біомаркерів, що дозволяють оцінювати фізіологічні зміни у риб під впливом антибіотиків, вакцин, анестетиків, дезінфікуючих речовин та інших хімічних агентів [65].

До альтернативних терапевтичних підходів належить використання пробіотиків, пребіотиків і синбіотиків для зміцнення імунної системи риб; нанотерапії – із застосуванням наночастинок для підвищення ефективності доставки ліків; а також фагової терапії, антимікробних пептидів, біосурфактантів і бактеріоцинів [24, 34]. Біопрепарати сприяють відновленню мікрофлори кишечника, підвищенню природного імунітету, покращенню росту та засвоєння кормів, а також зниженню ризику інфекцій без накопичення токсичних сполук у тканинах [94]. Рослинні екстракти, зокрема з часнику, куркуми, алое, ехінацеї та листя папаї, проявляють антибактеріальні, антипаразитарні та антиоксидантні властивості, що дозволяє зменшити залежність від синтетичних препаратів [16, 61, 87]. Як зазначає J. Oliveira *et al.* (2024), біомаркери дають змогу виявляти сублетальні ефекти дії хімічних речовин, антибіотиків і вакцин, відображаючи зміни у функціонуванні печінки, нирок, системи детоксикації та імунної відповіді. Це відкриває можливості для неінвазивного моніторингу стану риб без необхідності їх забою [65]. Наночастинки активно використовують як носії лікарських засобів або вакцин, що забезпечує контрольоване вивільнення активних речовин і підвищує ефективність лікування при мінімальному впливі на довкілля [25]. Використання бактеріофагів – природних вірусів, які знищують патогенні бактерії, – стає екологічно безпечним і селективним методом, що не викликає розвитку антибіотикорезистентності [21]. На думку R. Kumari *et al.* (2023), фагова терапія при інфекціях, спричинених *A. hydrophila*, може розглядатися як

перспективна альтернатива антибіотикам в аквакультури, що відповідає концепції «Єдине здоров'я» [45].

Гуманне поводження та ветеринарна етика. Сучасні стандарти ветеринарної медицини в аквакультури дедалі більше акцентують на важливості гуманного поводження з рибою. Особливу увагу приділяють мінімізації стресу під час транспортування, сортування, лікування та забою [58, 78, 85]. Етичне ставлення до риб базується на визнанні їх здатності відчувати біль, стрес і дискомфорт, що підтверджується численними дослідженнями [26, 70, 100].

Одним із найвразливіших етапів у життєвому циклі риби є транспортування, яке супроводжується змінами температури, рівня кисню, тіснотою та шумовим навантаженням. За даними Y. Yang *et al.* (2025), найважливішими чинниками, що впливають на благополуччя риби під час перевезення, є концентрація розчиненого кисню, температура води та професійна підготовка персоналу [99]. Для зниження рівня стресу під час транспортування необхідно дотримуватись низки ветеринарно-технічних заходів: підтримувати оптимальні параметри водного середовища (температура, рН, концентрація кисню); уникати перевантаження транспортних ємностей, контролюючи щільність посадки; мінімізувати тривалість перевезення; застосовувати заспокійливі або анальгетичні засоби виключно за показаннями та під контролем фахівця [39]. Регулярний моніторинг фізіологічного стану риби під час транспортування, наприклад, вимірювання рівня кортизолу чи поведінкових реакцій дає змогу своєчасно запобігти загибелі чи пошкодженню риби [10, 22].

У Китаї, найбільшому світовому виробнику риби, понад 75% прісноводних видів транспортується живими. Перевезення зазвичай здійснюється у спеціальних резервуарах із системами водоутримання, встановлених на вантажівках. Пунктами призначення виступають переважно оптові ринки, а тривалість подорожі коливається від однієї до восьми годин. Транспортування нільської тілапії (*Oreochromis niloticus*) при щільності посадки 500 кг/м³ протягом шести годин може призвести до порушення метаболічного відновлення та погіршення якості філе. Це свідчить про необхідність впровадження періодів відпочинку після транспортування, що сприяє покращенню благополуччя риб і якості продукції в системах аквакультури [84].

Сортування риби має здійснюватися з мінімальним фізичним контактом і ризиком травмування. З метою зниження стресу та забезпечення благополуччя риб рекомендується використовувати автоматизовані системи сортування з водяним потоком, які зменшують потребу в ручному втручанні. Важливо уникати пересушування шкіри риби, обмежувати частоту прямого контакту з нею, а всі маніпуляції проводити за умов належної вологості та оптимальної температури [39, 74].

Під час лікування риб важливо не лише ефективно усунути захворювання, а й мінімізувати додатковий стрес. J. F. Turnbull (2022)

рекомендує ізолювати хворих особин у спеціальних карантинних ємностях із комфортними умовами, уникати надмірного застосування антибіотиків, надаючи перевагу пробіотикам, імуностимуляторам та біобезпечним препаратам. Усі лікувальні маніпуляції слід проводити в спокійній обстановці, з мінімальним рівнем шуму та рухів, а також із постійним контролем фізіологічних показників і швидкою реакцією на ознаки дистресу [95]. На думку А. Previti *et al.* (2025), методи лікування, зокрема застосування антимікробних засобів, мають безпосередній вплив на благополуччя риб і пов'язані з етичними ризиками, зокрема розвитком антибіотикорезистентності [72].

В аквакультурі рибу нерідко піддають анестезії з метою проведення огляду, імплантації транспондерів або під час забою. Сучасні рекомендації наголошують на необхідності забезпечення гуманного умертвіння, тобто без страху, болю та з негайною, незворотною втратою свідомості. Серед найбільш ефективних методів оглушення виділяють ударний та електричний, які забезпечують швидке настання непритомності. Натомість метод фумігації вуглекислим газом не рекомендується, оскільки за низьких температур втрата свідомості настає повільніше, що ускладнює об'єктивну оцінку стану риби та може призвести до помилок. У дослідницькій практиці застосовується широкий спектр анестетиків, зокрема: бензокаїн, діазепам, етанол, ефір, еугенол, ізофлуран, кетамін, пропофол, хінальдину сульфат, трикаїн метансульфонат. Під час седації важливо контролювати температуру води, рівень розчиненого кисню та фізіологічний стан риби [31]. Як зазначають В. М. Poli *et al.* (2019), існує тісний взаємозв'язок між рівнем передсмертного стресу, перебігом посмертних метаболічних процесів та змінами якісних характеристик риби, що впливають на її споживчу цінність [71]. Для покращення умов утримання на аквакультурних фермах необхідно враховувати, як благополуччя риб впливає на органолептичні та харчові властивості риб'ячого м'яса [60].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Оцінка благополуччя риб у поєднанні з розвитком ветеринарних технологій є ключовим чинником сталого функціонування аквакультури та етичного проведення наукових досліджень. Сучасні підходи до забезпечення благополуччя риб базуються на міждисциплінарному поєднанні біологічних, технологічних, етичних і правових аспектів, що дозволяє не лише підвищити продуктивність і якість рибної продукції, а й зменшити стрес, хвороби та смертність серед риб.

Аналіз міжнародних підходів, зокрема принципів «П'яти свобод» та концепції «Єдине здоров'я» свідчить про необхідність гармонізації українського законодавства з європейськими та світовими нормами. Це сприятиме розвитку сталих аквакультурних практик, підвищенню конкурентоспроможності галузі та зміцненню наукового потенціалу у сфері ветеринарії та іхтіології.

Ветеринарні технології, від молекулярної діагностики та моніторингу фізіологічних показників до застосування пробіотиків, вакцин і гуманних методів забою, відіграють вирішальну роль у формуванні безпечних, ефективних та біоетичних систем вирощування. Водночас впровадження неінвазивних методів оцінки поведінкових і фізичних індикаторів благополуччя, а також автоматизованих систем контролю якості води, сприяє підвищенню точності спостережень і зниженню впливу людського фактора.

Гуманне поводження з рибою в аквакультурі є критично важливим для забезпечення їхнього благополуччя, якості продукції та етичності виробництва. Впровадження ветеринарних стандартів і технологій на всіх етапах, від транспортування до забою, сприяє зниженню стресу та підвищенню екологічної стійкості систем вирощування.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на стандартизацію методів оцінки благополуччя, адаптацію технологій до видоспецифічних потреб риб і гармонізацію нормативно-правової бази відповідно до міжнародних вимог.

Список використаної літератури

1. Abdelsalam M., Elgendy M. Y., Elfadadny M. R., Ali S. S., Sherif A. H. A review of molecular diagnoses of bacterial fish diseases. *Aquaculture International*, 2023, 31(3), 417–434. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00983-8>
2. Adhish M., Manjubala I. Effectiveness of zebrafish models in understanding human diseases – A review of models. *Heliyon*, 2023, 9(3), 14557. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14557>
3. Almazán-Rueda P., Puello-Cruz A., Martinez-Yanez R. Fish behaviour and welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 2024, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1462812>
4. Andreassen A. H., Clements J. C., Morgan R., Spatafora D., Metz M., Åsheim E. R., Pélabon C., Jutfelt F. Evolution of warming tolerance alters physiology and life history traits in zebrafish. *Nature Climate Change*, 2025, 15(6), 665–672. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02332-y>
5. Arechavala-López P., Cabrera-Álvarez M., Maia C. M., Saraiva J. L. Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. *Reviews in Aquaculture*, 2021, 14(2), 704–728. <https://doi.org/10.1111/raq.12620>
6. Baßmann B., Hahn L., Rebl A., Wenzel L. C., Hildebrand M.-C., Verleih M., Palm H. W. Effects of stocking density, size, and external stress on growth and welfare of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell) in a commercial RAS. *Fishes*, 2023, 8(2), 74. <https://doi.org/10.3390/fishes8020074>

7. Bahadir K. Examination of studies on ultrasound applications on fish species and connection with aquatic mammals. *Acta Scientific Veterinary Sciences*, 2023, 5(7), 82–85. <https://actascientific.com/ASVS/pdf/ASVS-05-0693.pdf>
8. Bailone R. L., Fukushima H. C. S., Ventura Fernandes B. H., De Aguiar L. K., Corrêa T., Janke H., Setti P. G., Roça R. D. O., Borra R. C. Zebrafish as an alternative animal model in human and animal vaccination research. *Laboratory Animal Research*, 2020, 36, 13. <https://doi.org/10.1186/s42826-020-00042-4>
9. Barreto M. O., Rey Planellas S., Yang Y., Phillips C., Descovich K. Emerging indicators of fish welfare in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 2021, 14(1), 343–361. <https://doi.org/10.1111/raq.12601>
10. Bortoletti M., Fonsatti E., Leva F., Maccatrozzo L., Ballarin C., Radaelli G., Caberlotto S., Bertotto D. Influence of transportation on stress response and cellular oxidative-stress markers in juvenile meagre (*Argyrosomus regius*). *Animals*, 2023, 13(20), 3288. <https://doi.org/10.3390/ani13203288>
11. Bozkurt Z. Fish welfare in aquaculture. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 2024, 10(1), 55–72. <https://doi.org/10.17216/limnofish.1365081>
12. Bozzo G., Dimuccio M. M. Implementation of animal welfare: Pros and cons. *Agriculture*, 2023, 13(4), 748. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040748>
13. Braithwaite V. A., Salvanes A. G. V. Aquaculture and restocking: Implications for conservation and welfare. *Animal Welfare*, 2023, 19(2), 139–149. <https://doi.org/10.1017/S096272862300001X>
14. Brysiewicz A., Czerniejewski P., Bonisławska M. Effect of diverse abiotic conditions on the structure and biodiversity of ichthyofauna in small, natural water bodies located on agricultural lands. *Water*, 2020, 12(10), 2674. <https://doi.org/10.3390/w12102674>
15. Chen H.-C., Huang H., Huang C.-C. High-frequency ultrasound deformation imaging for adult zebrafish during heart regeneration. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 2020, 10(1), 66–75. <https://doi.org/10.21037/qims.2019.09.20>
16. Dadras F., Velíšek J., Zusková E. An update about beneficial effects of medicinal plants in aquaculture: A review. *Veterinární medicína*, 2023, 68(12), 449–463. <https://doi.org/10.17221/96/2023-VETMED>
17. Dara M., Carbonara P., La Corte C., Parrinello D., Cammarata M., Parisi M. G. Fish welfare in aquaculture: Physiological and immunological activities for diets, social and spatial stress on Mediterranean aqua-cultured species. *Fishes*, 2023, 8(8), 414. <https://doi.org/10.3390/fishes8080414>
18. Dawood M. A. O., El-Lerei M., Hassan A. M., Ali E. Combined effects of water salinity and ammonia exposure on antioxidative status, serum biochemistry, and immunity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Scientific Reports / PMC repository*, 2023, 49(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10695-023-01267-5>

19. Dias G. M. C., Bezerra V., Risso W. E., dos Reis Martinez C. B., Simonato J. D. Hematological and biochemical changes in the Neotropical fish *Astyanax altiparanae* after acute exposure to a cadmium and nickel mixture. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2023, 234, 307. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06325-5>
20. Dinesh R., Anand C., John K. R., George M. R., Bharathi S., Kumar J. S. S. An overview of chemicals and drugs in aquaculture disease management. *Indian Journal of Animal Health*, 2022, 62(1), 1–20. <https://doi.org/10.36062/ijah.2022.05222>
21. Donati V. L., Dalsgaard I., Sundell K., Castillo D., Er-Rafik M., Clark J., Wiklund T., Middelboe M., Madsen L. Phage-Mediated Control of *Flavobacterium psychrophilum* in Aquaculture: In vivo Experiments to Compare Delivery Methods. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 12, 628309. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628309>
22. Duan Y., Li Q., Huang Z., Zhao Z., Zhao H., Feng Y., Liu S., Mou C., Zhou J., Zhang, L. Stress response of *Siniperca chuatsi* to transport stimuli using compound feed and live bait. *Animals*, 2025, 15(14), 2154. <https://doi.org/10.3390/ani15142154>
23. Eidsmo J., Madsen L., Pedersen L.-F., Jokumsen A., Gesto M. Environmental enrichment for rainbow trout fingerlings: A case study using shelters in an organic trout farm. *Animals*, 2023, 13(2), 268. <https://doi.org/10.3390/ani13020268>
24. Elgendy M. Y., Ali S. E., Dayem A. A., Khalil R. H., Moustafa M. M., Abdelsalam M. Alternative therapies recently applied in controlling farmed fish diseases: mechanisms, challenges, and prospects. *Aquaculture International*, 2024, 32, 9017–9078. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01603-3>
25. Fabrikov D., Varga Á. T., García M. C. V., Belteky P., Kozma G., Kónya Z., Martinez J., Barroso F. Sánchez-Muros M. J. Antimicrobial and antioxidant activity of encapsulated tea polyphenols in chitosan/alginate-coated zein nanoparticles: A possible supplement against fish pathogens in aquaculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 2024, 31, 13673–13687. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32058-x>
26. Fu C.-W., Horng J.-L., Chou M.-Y. Fish behaviour as a neural proxy to reveal physiological states. *Frontiers in Physiology*, 2022, 13, 937432. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.937432>
27. Gesto M., Jokumsen A. Effects of simple shelters on growth performance and welfare of rainbow trout juveniles. *Aquaculture*, 2022, 551, 737930. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737930>
28. Giri S. S. Sustainable aquaculture practices in South Asia: A comparative analysis of feed formulation and utilization. *Animal Frontiers*, 2024, 14(4), 6-16. <https://doi.org/10.1093/af/vfae020>

29. Gonzalez, T. J. (2023). 'Positive' animal welfare in aquaculture as a cardinal principle for sustainable development. *Frontiers in Animal Science*, 4, 1206035. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1206035>
30. Gonzalez T. J. Harmonizing animal health and welfare in modern aquaculture: Innovative practices for a sustainable seafood industry. *Fishes*, 2025, 10(4), 156. <https://doi.org/10.3390/fishes10040156>
31. Grunow B., Strauch S. M. Status assessment and opportunities for improving fish welfare in animal experimental research according to the 3R-Guidelines. *Reviews in Aquaculture*, 2023, 33, 1075–1093. <https://doi.org/10.1007/s11160-023-09781-8>
32. Ha T. D., Chaijarasphong T., Barnes A. K., Delamar-Devulvile J., Li P. E., Senapin S., Mohan C. V., Tang K. F. J. From fundamentals to new diagnostic technologies: What awaits us in tilapia disease diagnosis? *Aquaculture Research*, 2023, 15(S1), 186–212 <https://doi.org/10.1111/raq.12734>
33. Hasan M. J., Sultana S., Khan M. N., Rakibul Islam H. M., Nazrul Islam M. Molecular diagnosis appended by histopathological signature delineates the white spot syndrome virus (WSSV) infection in penaeid shrimps. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 2024, 6, 200138. <https://doi.org/10.1016/j.cirep.2024.200138>
34. Hegde A., Kabra S., Basawa R. M., Khile D. A., Faruk Abbu R., Thomas N. A., Manickam, N. B., Raval R. Bacterial diseases in marine fish species: current trends and future prospects in disease management. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2023, 39(11), 317. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03755-5>
35. Huralska S. V., Kot T. F., Yevtukh L. H., Sokulskyi I. M., Zaika S. S., Hryshchuk H. P., Kovalchuk, Yu. V. Ethical aspects of animal use in scientific research. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Veterinary sciences, 2025, 27(119), 25–31. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11904>
36. Huralska S. V., Budnik T. S., Pinskyi O. V., Kot T. F., Zakharin V. V., Yentukh L. G., Shnaider V. L. Professional ethics of a veterinary doctor: dilemmas, stress, morality. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Veterinary sciences, 2025, 27(119), 45–50. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11907>
37. Isla A., Aguilar M., Flores-Martín S. N., Barrientos C. A., Soto-Rauch G., Mancilla-Schulz J., Almendras F., Figueroa J., Yañez A. J. Advancements in rapid diagnostics and genotyping of Piscirickettsiosis (*Piscirickettsia salmonis*) using loop-mediated isothermal amplification. *Frontiers in Microbiology*, 2024, 15, 1392808. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1392808>
38. Islam S. I., Ahammad F., Mohammed H. Cutting-edge technologies for detecting and controlling fish diseases: Current status, outlook, and challenges.

- Journal of the World Aquaculture Society*, 2024, 55(2), 13051.
<https://doi.org/10.1111/jwas.13051>
39. Jacques N., Herrmann B., Sistiaga M., Brinkhof J. From behind bars to freedom: understanding the size selection of fish sorting grids. *Journal of Sea Research*, 2025, 205, 102595. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2025.102595>
40. Jin L. F., Liu Y. H. Molecular breeding techniques for disease resistance in common carp: Current advances and future prospects. *International Journal of Aquaculture*, 2024, 14(2), 51–61. <https://doi.org/10.5376/ija.2024.14.0007>
41. Kague E., Kwon R. Y., Busse B., Witten P. E., Karasik D. Standardization of bone morphometry and mineral density assessments in zebrafish and other small laboratory fishes using X-ray radiography and micro-computed tomography. *Journal of Bone and Mineral Research*, 2024, 39(12), 1695–1710. <https://doi.org/10.1093/jbmr/zjae171>
42. Kim M.-J., Kim J.-O., Jang G.-I., Kwon M.-G., Kim K.-I. Diagnostic validity of molecular diagnostic assays for white spot syndrome virus at different severity grades. *Heliyon*, 2023, 9(9), 19351. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19351>
43. Kleiber A., Stomp M., Rouby M., Ferreira V. H. B., Bégout M.-L., Benhaïm D., Labbé L., Tocqueville A., Levadoux M., Calandreau L. Cognitive enrichment to increase fish welfare in aquaculture: A review. *Aquaculture*, 2023, 575, 739654. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739654>
44. Kot T., Kovalchuk V. Features of spleen morphology in fish. *Scientific Progress & Innovations*, 2025, 28 (1), 222–227. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.34>
45. Kumari R., Yadav R., Kumar D., Chaube R., Nath G. Evaluation of bacteriophage therapy of *Aeromonas hydrophila* infection in a freshwater fish, *Pangasius bichanani*. *Frontiers in Aquaculture*, 2023, 2, 1201466. <https://doi.org/10.3389/faq.2023.1201466>
46. Laniková J., Mikula P., Bláhová J., Tichý F., Mareš J., Enevová V., Chmělova L., Svobodová Z. Sodium chloride bath – A cheap and safe tool for antiparasitic treatment of fish. *Veterinární medicína*, 2021, 66(12), 530–538. <https://doi.org/10.17221/61/2021->
47. Leng X., Du H., Xiong W., Cheng P., Luo J., Wu J. Successful ultrasonography-assisted artificial reproduction of critically endangered Sichuan taimen (*Hucho bleekeri*). *Fishes*, 2023, 8(3), 152. <https://doi.org/10.3390/fishes8030152>
48. Li D., Li X., Wang Q., Hao Y. Advanced techniques for the intelligent diagnosis of fish diseases: A review. *Animals (Basel)*, 2022, 12(21), 2938. <https://doi.org/10.3390/ani12212938>
49. Ligina V., Martin R., Aiswarya M. V., Mashirin K. R., Chitra K. C. Acute and sublethal effects of acrylamide on the freshwater fish *Anabas testudineus*

- (Bloch, 1792). *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29, 90835–90851. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22155-0>
50. Lin T., Meegaskumbura M. Fish microRNA responses to thermal stress: Insights and implications for aquaculture and conservation amid global warming. *Animals*, 2025, 15(5), 624. <https://doi.org/10.3390/ani15050624>
51. MacAulay S., Ellison A. R., Kille P., Cable J. Moving towards improved surveillance and earlier diagnosis of aquatic pathogens: From traditional methods to emerging technologies. *Reviews in Aquaculture*, 2022, 14(4), 1813–1829. <https://doi.org/10.1111/raq.12674>
52. MacRae C. A., Peterson R. T. Zebrafish as a mainstream model for in vivo systems pharmacology and toxicology. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 2023, 63, 43–64. <https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-051421-105617>
53. Maia C. M., Saraiva J. L., Gonçalves-de-Freitas E. Fish welfare in farms: potential, knowledge gaps and other insights from the fair-fish database. *Frontiers in Veterinary Science*, 2024, 11, 1450087. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1450087>
54. Maia C. M., Gauy A. C. S., Goncalves-de-Freitas E. Fish welfare in the ornamental trade: Stress factors, environmental impacts and welfare indicators. *Aquatic & Ornamental Fish Review*, 2025, 10(5), 224. <https://doi.org/10.3390/fishes10050224>
55. Mahmud M. N., Ansary A. A., Ritu F. Y., Hasan N. A., Haque M. M. An overview of fish disease diagnosis and treatment in aquaculture in Bangladesh. *Aquaculture Journal*, 2025, 5(4), 18. <https://doi.org/10.3390/aquacj5040018>
56. Matvienko N., Nedosekov V., Koziy M., Kravchenko A. Fish welfare in Ukraine. *Zoology & Ecology*, 2022, 32(1), 84–89. <https://doi.org/10.35513/21658005.2022.1.10>
57. Marques Maia C. Individuality really matters for fish welfare. *Veterinary Quarterly*, 2023, 43(1), 1–5. <https://doi.org/10.1080/01652176.2023.2270653>
58. Meijboom F. L. B. Fish resilience as an ethical issue. *Journal of Fish Biology*, 2025, 106(1), 6–11. <https://doi.org/10.1111/jfb.15973>
59. Menon S. V., Kumar A., Middha S., Paital B., Mathur P., Johnson P., Asthana V. Water physicochemical factors and oxidative stress physiology in fish: a review. *Frontiers in Environmental Science*, 2023, 11, 1240813. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1240813>
60. Mercogliano R., Avolio A., Castiello F., Ferrante M. Noble C., Lines J. A. Development of Welfare Protocols at Slaughter in Farmed Fish. *Animals*, 2024, 14(18), 2730. <https://doi.org/10.3390/ani14182730>
61. Meshram R. K., Brahmchari R. K., Banik A., Dubey M. K., Kumar G., Nayak S. K., Shrivastava P. P. Therapeutic evaluation of papaya (*Carica papaya*) leaf extract for disease management in Indian major carp, *Labeo rohita* infected with

- Aeromonas veronii*. *Aquaculture Science & Management*, 2025, 2, 16.
<https://doi.org/10.1186/s44365-025-00023-5>
- 62.Mlingi F. T., Puvanendran V., Burgerhout E., Tveiten H., Tomkiewicz J., Kjørsvik E., Mommens M. Ultrasonic imaging as a means of monitoring gonadal development in lumpfish (*Cyclopterus lumpus*). *Physiological Reports*, 2023, 11(18), 15811. <https://doi.org/10.14814/phy2.15811>
- 63.Nazir A., Huang Q., Wang W., Wang Y. Fish health and welfare indicators: Integrative approaches for sustainable aquaculture management. *Ecological Indicators*, 2023, 154, 110939. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110939>
- 64.Nguyen C. V., Lanni D., Xu Y., Michaelson J. S., McMenamin S. K. Skeletal dynamics of *Danio rerio* in three dimensions during juvenile and adult development. *Frontiers in Physiology*, 2022, 13, 875866. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.875866>
- 65.Oliveira J., Oliva-Teles A., Couto A. Tracking biomarkers for the health and welfare of aquaculture fish. *Fishes*, 2024, 9(7), 289. <https://doi.org/10.3390/fishes9070289>
- 66.Ott B. D., Chisolm D. O., Pfeiffer T. J. Postprandial oxygen consumption, ammonia excretion and carbon dioxide production of channel and blue catfish. *Journal of Fish Biology*, 2025, 107(2), 603–612. <https://doi.org/10.1111/jfb.70065>
- 67.Overton J. L., Damsgård B., D'Angelo L., Fjelldal P. G., Glover K. A., Handeland S. O., Overli O. Fish welfare in aquaculture: Expanding our biological understanding to sustain and improve production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2022, 32(1), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09677-5>
- 68.Perenguez Riofrio L. C., da Luz S. L., Santarosa I. M., de Castro M. A., dos Santos E. D., de França L. C. K., Hoffmann K., Owatari M. S., Brum A., Magnotti C. Ultrasonography is a valuable tool for assisting in marine fish reproduction: Applications in Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) and lebranche mullet (*Mugil liza*). *Fishes*, 2025, 10(7), 312. <https://doi.org/10.3390/fishes10070312>
- 69.Pietsch C., Pawlak P., Konrad J. Acute stress effects over time on the gene expression and neurotransmitter patterns in the carp (*Cyprinus carpio*) brain. *Animals*, 2024, 14(23), 3413. <https://doi.org/10.3390/ani14233413>
- 70.Pietsch C. Editorial: Fish Welfare in Aquaculture and Research – Where Are We Going? *Animals*, 2025, 15(16), 2367. <https://doi.org/10.3390/ani15162367>
- 71.Poli B. M., Parisi G., Scappini F., Zampacavallo G. Farmed fish welfare: Stress, post-mortem muscle metabolism, and stress-related meat quality changes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2019, 45, 1243–1257. <https://doi.org/10.1007/s40071-019-0230-0>
- 72.Prevedi A., Biondi V., Bruno F., Castelli G., Pugliese M., Vitale F., Padalino B., Passantino A. Text mining and topic modeling insights on fish welfare and

- antimicrobial use in aquaculture. *BMC Veterinary Research*, 2025, 21, 1–11.
<https://doi.org/10.1186/s12917-025-04544-y>
73. Rahmati-Holasoo H., Azizzadeh M., Ebrahimzadeh Mousavi H., Shokrpour S., Ziafati Kafi Z., Marandi A. Histopathological, morphological, and molecular characterization of fish-borne zoonotic parasite *Eustrongylides excisus* infecting northern pike (*Esox lucius*) in Iran. *BMC Veterinary Research*, 2024, 20, 291.
<https://doi.org/10.1186/s12917-024-04146-0>
74. Raposo A., Reading B., Frinsko M., Roberts D. L. A Study Toward More Ethical Commercial Aquaculture by Leveraging Rheotaxis. *Animals*, 2025, 15(20), 2961. <https://doi.org/10.3390/ani15202961>
75. Rathor G. S., Swain B. Advancements in fish vaccination: Current innovations and future horizons in aquaculture health management. *Applied Sciences*, 2024, 14(13), 5672. <https://doi.org/10.3390/app14135672>
76. Reda R. M., El-Murr A., Abdel-Basset N. A., Metwally M. M., Ibrahim R. E. Implications of ammonia stress for the pathogenicity of *Shewanella* spp. in *Oreochromis niloticus*: effects on hematological, biochemical, immunological, and histopathological parameters. *BMC Veterinary Research*, 2024, 20, 324. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04175-9>
77. Roberts S., Jacquet J., Majluf P., Hayek M. N. Feeding global aquaculture. *Science Advances*, 2024, 10(42), 9698. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adn9698>
78. Sahadevan P. Fish welfare matters: Why science and ethics must align? *Fisheries Journal*, 2025, 13(2C), 195–197. <https://doi.org/10.22271/fish.2025.v13.i2c.3064>
79. Sánchez-Velázquez J., Peña-Herrejón G. A., Aguirre-Becerra H. Fish Responses to Alternative Feeding Ingredients under Abiotic Chronic Stress. *Animals*, 2024, 14(5), 765. <https://doi.org/10.3390/ani14050765>
80. Sarwar A., Iqbal M. T. IoT-Based Real-Time Aquaculture Health Monitoring System. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2022, 6(4), 455. <https://doi.org/10.24018/ejece.2022.6.4.455>
81. Sen Sarma O., Frymus N., Axling F., Thörnqvist P.-O., Roman E., Winberg S. Optimizing zebrafish rearing – Effects of fish density and environmental enrichment. *Frontiers in Behavioural Neuroscience*, 2023, 17, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1204021>
82. Shimizu, N., Shiraishi, H., & Hanada, T. (2023). Zebrafish as a useful model system for human liver disease. *Cells*, 12(18), 2246. <https://doi.org/10.3390/cells12182246>
83. Shyam K. U., Kim H. J., Kole S., Oh M. J., Kim C. S., Kim D. H., Kim W. S. Antibody-based lateral flow chromatographic assays for detecting fish and shrimp pathogens: A technical review. *Aquaculture*, 2022, 558, 738345. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738345>
84. Silva M. I. d., Silva V. F. d., Goes M. D., Cardoso S. U., Baumgartner L. A., Souza M. L. R. d., Honorato C. A., Bombardelli R. A., Goes E. S. R. Pre-

- slaughter rest is effective in improving the physiology and quality of *Nile tilapia* fillets subjected to in vivo transportation at high densities. *Foods*, 2025, 14(13), 2279. <https://doi.org/10.3390/foods14132279>
- 85.Sloman K. A. Ethical considerations in fish research. *Journal of Fish Biology*, 2019, 94(4), 556–577. <https://doi.org/10.1111/jfb.13946>
- 86.Smith S. A. Fish welfare in public aquariums and zoological collections. *Animals*, 2023, 13(16), 2548. <https://doi.org/10.3390/ani13162548>
- 87.Stoyanova S., Sirakov I., Velichkova K. Sustainable Production: Integrating Medicinal Plants with Fish Farming in Aquaponics – A Mini Review. *Sustainability*, 2024, 16(15), 6337. <https://doi.org/10.3390/su16156337>
- 88.Sukumaran A., Thomas T., Thomas R., Thomas R. E., Paul J. K., Vasudevan D. M. Development and troubleshooting in lateral flow immunochromatography assays. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 2021, 36(2), 208–212. <https://doi.org/10.1007/s12291-020-00887->
- 89.Syanya F. J., Mathia W. M., Harikrishnan M. Current status and trend on the adoption of fish feed additives for sustainable tilapia aquaculture production: A review. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 2023, 22(3), 10–25. <https://doi.org/10.9734/AJFAR/2023/v22i3571>
- 90.Szychlińska M. A., Marino Gammazza A. The Zebrafish Model in Animal and Human Health Research. *International Journal of Molecular Sciences*, 2025, 26(5), 1945. <https://doi.org/10.3390/ijms26051945>
- 91.Tammas I., Bitchava K., Gelasakis A. I. Transforming aquaculture through vaccination: A review on recent developments and milestones. *Vaccines*, 2024, 12(7), 732. <https://doi.org/10.3390/vaccines12070732>
- 92.Thompson W. A., Vijayan M. M. Antidepressants as endocrine disrupting compounds in fish. *Frontiers in Endocrinology*, 2022, 13, 895064. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.895064>
- 93.Torgerson-White L., Sánchez-Suárez W. Looking beyond the shoal: Fish welfare as an individual attribute. *Animals*, 2022, 12(19), 2592. <https://doi.org/10.3390/ani12192592>
- 94.Torres-Maravilla E., Parra M., Maisey K., Vargas R. A., Cabezas-Cruz A., Gonzalez A., Tello M., Bermúdez-Humarán L. G. Importance of Probiotics in Fish Aquaculture: Towards the Identification and Design of Novel Probiotics. *Microorganisms*, 2024, 12(3), 626. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030626>
- 95.Turnbull J. F. The Complex Influences on How We Care for Farmed Fish. *Frontiers in Aquaculture / Veterinary Science*, 2022, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.765797>
- 96.Tyagi V., Balian R., Kumari A., Yasmin R., Mishra I., Nath P. Importance of diagnostics in effective disease control in aquaculture and fisheries. *Journal of*

97. Witeska M., Kondera E., Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology – A review. *Animals*, 2023, 13(16), 2625.
<https://doi.org/10.3390/ani13162625>
98. Yadava K. K., Vartak V. R., Brar K. S., Gore S. B. Advanced techniques for fish health assessment and treatment. *Innovations and ethical practices for aquaculture production*, 2024, 35–86.
99. Yang Y., Phillips C., Narayan E., Shao Q., Descovich K. Attitudes of Chinese aquaculture stakeholders towards live transport and farmed fish welfare, with a focus on the Hunan region. *Aquaculture International*, 2025, 33, 300–332.
<https://doi.org/10.1007/s10499-025-01975-0>
100. Yuan M., Fang Q., Lu W., Wang X., Hao T., Chong C.-M. Stress in fish: Neuroendocrine and neurotransmitter responses. *Fishes*, 2025, 10(7), 307.
<https://doi.org/10.3390/fishes10070307>
101. Zhu T., Li X., Wu X., Yang D. Temperature acclimation alters the thermal tolerance and intestinal heat stress response in a Tibetan fish *Oxygymnocypris stewarti*. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13, 1–11.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.898145>

Tetiana Kot,

doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor of the
Department of Internal Pathology and Morphology
Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-0448-2097
e-mail: tkotvet@ukr.net

Svitlana Huralska,

doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the
Department of Internal Pathology and Morphology
Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-7383-1989
e-mail: guralska@ukr.net

Vyacheslav Zakharin,

Candidate in Medical Sciences, Associate Professor of the
Department of Internal Pathology and Morphology
Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-4157-644X
e-mail: zakharin35@ukr.net

Liudmyla Yevtukh,

Candidate in Medical Sciences, Associate Professor of the
Department of Internal Pathology and Morpholog
Polissia Nationsl University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-3116-3980
e-mail: kludavet@gmail.com

Oleg Pinskyi,

Candidate in Medical Sciences, Associate Professor of the
Department of Internal Pathology and Morpholog
Polissia Nationsl University
ORCID ID: 0000-0002-1987-5261
e-mail: pinsky.o.v@ukr.net

Viktoria Shnaider,

Candidate in Medical Sciences, Associate Professor of the
Department of Internal Pathology and Morpholog
Polissia Nationsl University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-9568-0808
e-mail: shnaider121182@gmail.com

**VETERINARY TECHNOLOGIES AND THE ASSESSMENT OF FISH
WELFARE IN SCIENTIFIC RESEARCH AND AQUACULTURE
(Review article)**

Abstract

In the modern context of aquaculture development and the growing role of fish in scientific research, the issue of ensuring their welfare has gained particular attention.

The lack of clearly regulated standards for fish maintenance complicates the implementation of ethical practices and reduces the efficiency of farming systems. At the same time, modern veterinary technologies open new opportunities for monitoring, prevention, and treatment of diseases, which directly affect the health, productivity, and ecological sustainability of fish populations.

The aim of the study was to summarize current scientific approaches to assessing fish welfare in the context of aquaculture and experimental research, as well as to analyze the role and significance of veterinary technologies in maintaining the health, productivity, and ecological sustainability of fish populations. An analysis of scientific publications available in international databases and specialized veterinary and ichthyological journals published over the past five years was conducted. The principles of critical analysis, systematization, and synthesis of information from various sources were applied, along with methods of logical and structured presentation of material.

The article presents a review of modern veterinary technologies and approaches to assessing fish welfare in scientific research and aquaculture.

Key factors influencing fish welfare are considered, including physico-chemical water parameters, stocking density, social behavior, and structural complexity of the environment. International standards and concepts shaping the ethical and legal foundations of aquatic

animal management are analyzed. Special attention is given to the role of veterinary technologies in health monitoring, diagnostics, disease prevention and treatment, as well as in the implementation of innovative methods for maintaining sustainable aquaculture systems. It is shown that the integration of biomarkers, automated control systems, and humane husbandry methods contributes to increased productivity, product quality, and ecological safety.

The article has analytical and theoretical value, as it summarizes interdisciplinary approaches to assessing fish welfare and the role of veterinary technologies in shaping sustainable aquaculture systems.

Keywords: organism of fish; welfare indicators; five freedoms of animals; research and experimentation; diagnosis, treatment and prevention of fish diseases; humane handling.

Reference

1. Abdelsalam, M., Elgendy, M. Y., Elfadadny, M. R., Ali, S. S., & Sherif, A. H. (2023). A review of molecular diagnoses of bacterial fish diseases. *Aquaculture International*, 31(3), 417–434. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00983-8>
2. Adhish, M., & Manjubala, I. (2023). Effectiveness of zebrafish models in understanding human diseases – A review of models. *Heliyon*, 9(3), 14557. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14557>
3. Almazán-Rueda, P., Puello-Cruz, A., & Martinez-Yanez, R. (2024). Fish behaviour and welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1462812>
4. Andreassen, A. H., Clements, J. C., Morgan, R., Spatafora, D., Metz, M., Åsheim, E. R., Pélabon, C., & Jutfelt, F. (2025). Evolution of warming tolerance alters physiology and life history traits in zebrafish. *Nature Climate Change*, 15(6), 665–672. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02332-y>
5. Arechavala-López, P., Cabrera-Álvarez, M., Maia, C. M., & Saraiva, J. L. (2021). Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 704–728. <https://doi.org/10.1111/raq.12620>
6. Baßmann, B., Hahn, L., Rebl, A., Wenzel, L. C., Hildebrand, M.-C., Verleih, M., & Palm, H. W. (2023). Effects of stocking density, size, and external stress on growth and welfare of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a commercial RAS. *Fishes*, 8(2), 74. <https://doi.org/10.3390/fishes8020074>
7. Bahadir, K. (2023). Examination of studies on ultrasound applications on fish species and connection with aquatic mammals. *Acta Scientific Veterinary Sciences*, 5(7), 82–85. <https://actascientific.com/ASVS/pdf/ASVS-05-0693.pdf>
8. Bailone, R. L., Fukushima, H. C. S., Ventura Fernandes, B. H., De Aguiar, L. K., Corrêa, T., Janke, H., Setti, P. G., Roça, R. D. O., & Borra, R. C. (2020). Zebrafish as an alternative animal model in human and animal vaccination research. *Laboratory Animal Research*, 36, 13. <https://doi.org/10.1186/s42826-020-00042-4>
9. Barreto, M. O., Rey Planellas, S., Yang, Y., Phillips, C., & Descovich, K. (2021). Emerging indicators of fish welfare in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 343–361. <https://doi.org/10.1111/raq.12601>

10. Bortoletti, M., Fonsatti, E., Leva, F., Maccatrozzo, L., Ballarin, C., Radaelli, G., Caberlotto, S., & Bertotto, D. (2023). Influence of transportation on stress response and cellular oxidative-stress markers in juvenile meagre (*Argyrosomus regius*). *Animals*, 13(20), 3288. <https://doi.org/10.3390/ani13203288>
11. Bozkurt, Z. (2024). Fish welfare in aquaculture. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 10(1), 55–72. <https://doi.org/10.17216/limnofish.1365081>
12. Bozzo, G., & Dimuccio, M. M. (2023). Implementation of animal welfare: Pros and cons. *Agriculture*, 13(4), 748. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040748>
13. Braithwaite, V. A., & Salvanes, A. G. V. (2023). Aquaculture and restocking: Implications for conservation and welfare. *Animal Welfare*, 19(2), 139–149. <https://doi.org/10.1017/S096272862300001X>
14. Brysiewicz, A., Czerniejewski, P. & Bonisławska, M. (2020). Effect of diverse abiotic conditions on the structure and biodiversity of ichthyofauna in small, natural water bodies located on agricultural lands. *Water*, 12(10), 2674. <https://doi.org/10.3390/w12102674>
15. Chen, H.-C., Huang, H., & Huang, C.-C. (2020). High-frequency ultrasound deformation imaging for adult zebrafish during heart regeneration. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 10(1), 66–75. <https://doi.org/10.21037/qims.2019.09.20>
16. Dadras, F., Velíšek, J., & Zusková, E. (2023). An update about beneficial effects of medicinal plants in aquaculture: A review. *Veterinárni medicína*, 68(12), 449–463. <https://doi.org/10.17221/96/2023-VETMED>
17. Dara, M., Carbonara, P., La Corte, C., Parrinello, D., Cammarata, M., & Parisi, M. G. (2023). Fish welfare in aquaculture: Physiological and immunological activities for diets, social and spatial stress on Mediterranean aqua-cultured species. *Fishes*, 8(8), 414. <https://doi.org/10.3390/fishes8080414>
18. Dawood, M. A. O., El-Lerei, M., Hassan, A. M., & Ali, E. (2023). Combined effects of water salinity and ammonia exposure on antioxidative status, serum biochemistry, and immunity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Scientific Reports / PMC repository*, 49(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10695-023-01267-5>
19. Dias, G. M. C., Bezerra, V., Risso, W. E., dos Reis Martinez, C. B., & Simonato, J. D. (2023). Hematological and biochemical changes in the Neotropical fish *Astyanax altiparanae* after acute exposure to a cadmium and nickel mixture. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234, 307. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06325-5>
20. Dinesh, R., Anand, C., John, K. R., George, M. R., Bharathi, S., & Kumar, J. S. S. (2022). An overview of chemicals and drugs in aquaculture disease management. *Indian Journal of Animal Health*, 62(1), 1–20. <https://doi.org/10.36062/ijah.2022.05222>

21. Donati, V. L., Dalsgaard, I., Sundell, K., Castillo, D., Er-Rafik, M., Clark, J., Wiklund, T., Middelboe, M., & Madsen, L. (2021). Phage-Mediated Control of *Flavobacterium psychrophilum* in Aquaculture: In vivo Experiments to Compare Delivery Methods. *Frontiers in Microbiology*, 12, 628309. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628309>
22. Duan, Y., Li, Q., Huang, Z., Zhao, Z., Zhao, H., Feng, Y., Liu, S., Mou, C., Zhou, J., & Zhang, L. (2025). Stress response of *Siniperca chuatsi* to transport stimuli using compound feed and live bait. *Animals*, 15(14), 2154. <https://doi.org/10.3390/ani15142154>
23. Eidsmo, J., Madsen, L., Pedersen, L.-F., Jokumsen, A., & Gesto, M. (2023). Environmental enrichment for rainbow trout fingerlings: A case study using shelters in an organic trout farm. *Animals*, 13(2), 268. <https://doi.org/10.3390/ani13020268>
24. Elgendy, M. Y., Ali, S. E., Dayem, A. A., Khalil, R. H., Moustafa, M. M., & Abdelsalam, M. (2024). Alternative therapies recently applied in controlling farmed fish diseases: mechanisms, challenges, and prospects. *Aquaculture International*, 32, 9017–9078. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01603-3>
25. Fabrikov, D., Varga, Á. T., García, M. C. V., Belteky, P., Kozma, G., Kónya, Z., Martinez, J., Barroso, F. & Sánchez-Muros, M. J. (2024). Antimicrobial and antioxidant activity of encapsulated tea polyphenols in chitosan/alginate-coated zein nanoparticles: A possible supplement against fish pathogens in aquaculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 13673–13687. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32058-x>
26. Fu, C.-W., Horng, J.-L., & Chou, M.-Y. (2022). Fish behaviour as a neural proxy to reveal physiological states. *Frontiers in Physiology*, 13, 937432. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.937432>
27. Gesto, M., & Jokumsen, A. (2022). Effects of simple shelters on growth performance and welfare of rainbow trout juveniles. *Aquaculture*, 551, 737930. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737930>
28. Giri, S. S. (2024). Sustainable aquaculture practices in South Asia: A comparative analysis of feed formulation and utilization. *Animal Frontiers*, 14(4), 6–16. <https://doi.org/10.1093/af/vfae020>
29. Gonzalez, T. J. (2023). 'Positive' animal welfare in aquaculture as a cardinal principle for sustainable development. *Frontiers in Animal Science*, 4, 1206035. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1206035>
30. Gonzalez, T. J. (2025). Harmonizing animal health and welfare in modern aquaculture: Innovative practices for a sustainable seafood industry. *Fishes*, 10(4), 156. <https://doi.org/10.3390/fishes10040156>
31. Grunow, B., & Strauch, S. M. (2023). Status assessment and opportunities for improving fish welfare in animal experimental research according to the 3R-

- Guidelines. *Reviews in Aquaculture*, 33, 1075–1093.
<https://doi.org/10.1007/s11160-023-09781-8>
32. Ha, T. D., Chaijarasphong, T., Barnes, A. K., Delamar-Devulville, J., Li, P. E., Senapin, S., Mohan, C. V., & Tang, K. F. J. (2023). From fundamentals to new diagnostic technologies: What awaits us in tilapia disease diagnosis? *Aquaculture Research*, 15(S1), 186–212 <https://doi.org/10.1111/raq.12734>
33. Hasan, M. J., Sultana, S., Khan, M. N., Rakibul Islam, H. M., & Nazrul Islam, M. (2024). Molecular diagnosis appended by histopathological signature delineates the white spot syndrome virus (WSSV) infection in penaeid shrimps. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 6, 200138. <https://doi.org/10.1016/j.cirep.2024.200138>
34. Hegde, A., Kabra, S., Basawa, R. M., Khile, D. A., Faruk Abbu, R., Thomas, N. A., Manickam, N. B., & Raval, R. (2023). Bacterial diseases in marine fish species: current trends and future prospects in disease management. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 39(11), 317. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03755-5>
35. Huralska, S. V., Kot, T. F., Yevtukh, L. H., Sokulskyi, I. M., Zaika, S. S., Hryshchuk, H. P., & Kovalchuk, Yu. V. (2025). Ethical aspects of animal use in scientific research. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Veterinary sciences, 27(119), 25–31. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11904>
36. Huralska, S. V., Budnik, T. S., Pinskyi, O. V., Kot, T. F., Zakharin, V. V., Yentukh, L. G., & Shnaider, V. L. (2025). Professional ethics of a veterinary doctor: dilemmas, stress, morality. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Veterinary sciences, 27(119), 45–50. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11907>
37. Isla, A., Aguilar, M., Flores-Martín, S. N., Barrientos, C. A., Soto-Rauch, G., Mancilla-Schulz, J., Almendras, F., Figueroa, J., & Yañez, A. J. (2024). Advancements in rapid diagnostics and genotyping of *Piscirickettsiosis* (*Piscirickettsia salmonis*) using loop-mediated isothermal amplification. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1392808. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1392808>
38. Islam, S. I., Ahammad, F., & Mohammed, H. (2024). Cutting-edge technologies for detecting and controlling fish diseases: Current status, outlook, and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(2), 13051. <https://doi.org/10.1111/jwas.13051>
39. Jacques, N., Herrmann, B., Sistiaga, M., & Brinkhof, J. (2025). From behind bars to freedom: understanding the size selection of fish sorting grids. *Journal of Sea Research*, 205, 102595. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2025.102595>
40. Jin, L. F., & Liu, Y. H. (2024). Molecular breeding techniques for disease resistance in common carp: Current advances and future prospects.

41. Kague, E., Kwon, R. Y., Busse, B., Witten, P. E., & Karasik, D. (2024). Standardization of bone morphometry and mineral density assessments in zebrafish and other small laboratory fishes using X-ray radiography and micro-computed tomography. *Journal of Bone and Mineral Research*, 39(12), 1695–1710. <https://doi.org/10.1093/jbmr/zjae171>
42. Kim, M.-J., Kim, J.-O., Jang, G.-I., Kwon, M.-G., & Kim, K.-I. (2023). Diagnostic validity of molecular diagnostic assays for white spot syndrome virus at different severity grades. *Heliyon*, 9(9), 19351. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19351>
43. Kleiber, A., Stomp, M., Rouby, M., Ferreira, V. H. B., Bégout, M.-L., Benhaïm, D., Labbé, L., Tocqueville, A., Levadoux, M., & Calandreau, L. (2023). Cognitive enrichment to increase fish welfare in aquaculture: A review. *Aquaculture*, 575, 739654. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739654>
44. Kot, T., & Kovalchuk, V. (2025). Features of spleen morphology in fish. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (1), 222–227. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.34>
45. Kumari, R., Yadav, R., Kumar, D., Chaube, R., & Nath, G. (2023). Evaluation of bacteriophage therapy of *Aeromonas hydrophila* infection in a freshwater fish, *Pangasius burchanani*. *Frontiers in Aquaculture*, 2, 1201466. <https://doi.org/10.3389/faquc.2023.1201466>
46. Laniková, J., Mikula, P., Bláhová, J., Tichý, F., Mareš, J., Enevová, V., Chmělova, L., & Svobodová, Z. (2021). Sodium chloride bath – A cheap and safe tool for antiparasitic treatment of fish. *Veterinární medicína*, 66(12), 530–538. <https://doi.org/10.17221/61/2021->
47. Leng, X., Du, H., Xiong, W., Cheng, P., Luo, J., & Wu, J. (2023). Successful ultrasonography-assisted artificial reproduction of critically endangered Sichuan taimen (*Hucho bleekeri*). *Fishes*, 8(3), 152. <https://doi.org/10.3390/fishes8030152>
48. Li, D., Li, X., Wang, Q., & Hao, Y. (2022). Advanced techniques for the intelligent diagnosis of fish diseases: A review. *Animals (Basel)*, 12(21), 2938. <https://doi.org/10.3390/ani12212938>
49. Ligina, V., Martin, R., Aiswarya, M. V., Mashirin, K. R., & Chitra, K. C. (2022). Acute and sublethal effects of acrylamide on the freshwater fish *Anabas testudineus* (Bloch, 1792). *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 90835–90851. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22155-0>
50. Lin, T., & Meegaskumbura, M. (2025). Fish microRNA responses to thermal stress: Insights and implications for aquaculture and conservation amid global warming. *Animals*, 15(5), 624. <https://doi.org/10.3390/ani15050624>
51. MacAulay, S., Ellison, A. R., Kille, P., & Cable, J. (2022). Moving towards improved surveillance and earlier diagnosis of aquatic pathogens: From

- traditional methods to emerging technologies. *Reviews in Aquaculture*, 14(4), 1813–1829. <https://doi.org/10.1111/raq.12674>
52. MacRae, C. A., & Peterson, R. T. (2023). Zebrafish as a mainstream model for in vivo systems pharmacology and toxicology. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 63, 43–64. <https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-051421-105617>
53. Maia, C. M., Saraiva, J. L., & Gonçalves-de-Freitas, E. (2024). Fish welfare in farms: potential, knowledge gaps and other insights from the fair-fish database. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1450087. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1450087>
54. Maia, C. M., Gauy, A. C. S., & Goncalves-de-Freitas, E. (2025). Fish welfare in the ornamental trade: Stress factors, environmental impacts and welfare indicators. *Aquatic & Ornamental Fish Review*, 10(5), 224. <https://doi.org/10.3390/fishes10050224>
55. Mahmud, M. N., Ansary, A. A., Ritu, F. Y., Hasan, N. A., & Haque, M. M. (2025). An overview of fish disease diagnosis and treatment in aquaculture in Bangladesh. *Aquaculture Journal*, 5(4), 18. <https://doi.org/10.3390/aquacj5040018>
56. Matvienko, N., Nedosekov, V., Koziiy, M., & Kravchenko, A. (2022). Fish welfare in Ukraine. *Zoology & Ecology*, 32(1), 84–89. <https://doi.org/10.35513/21658005.2022.1.10>
57. Marques Maia, C. (2023). Individuality really matters for fish welfare. *Veterinary Quarterly*, 43(1), 1–5. <https://doi.org/10.1080/01652176.2023.2270653>
58. Meijboom, F. L. B. (2025). Fish resilience as an ethical issue. *Journal of Fish Biology*, 106(1), 6–11. <https://doi.org/10.1111/jfb.15973>
59. Menon, S. V., Kumar, A., Middha, S., Paital, B., Mathur, P., Johnson, P., & Asthana, V. (2023). Water physicochemical factors and oxidative stress physiology in fish: a review. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1240813. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1240813>
60. Mercogliano, R., Avolio, A., Castiello, F., Ferrante, M. Noble, C., & Lines, J. A. (2024). Development of Welfare Protocols at Slaughter in Farmed Fish. *Animals*, 14(18), 2730. <https://doi.org/10.3390/ani14182730>
61. Meshram, R. K., Brahmchari, R. K., Banik, A., Dubey, M. K., Kumar, G., Nayak, S. K., & Shrivastava, P. P. (2025). Therapeutic evaluation of papaya (*Carica papaya*) leaf extract for disease management in Indian major carp, Labeo rohita infected with Aeromonas veronii. *Aquaculture Science & Management*, 2, 16. <https://doi.org/10.1186/s44365-025-00023-5>
62. Mlingi, F. T., Puvanendran, V., Burgerhout, E., Tveiten, H., Tomkiewicz, J., Kjørsvik, E., & Mommens, M. (2023). Ultrasonic imaging as a means of

- monitoring gonadal development in lumpfish (*Cyclopterus lumpus*). *Physiological Reports*, 11(18), 15811. <https://doi.org/10.14814/phy2.15811>
63. Nazir, A., Huang, Q., Wang, W., & Wang, Y. (2023). Fish health and welfare indicators: Integrative approaches for sustainable aquaculture management. *Ecological Indicators*, 154, 110939. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110939>
64. Nguyen, C. V., Lanni, D., Xu, Y., Michaelson, J. S., & McMenamin, S. K. (2022). Skeletal dynamics of *Danio rerio* in three dimensions during juvenile and adult development. *Frontiers in Physiology*, 13, 875866. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.875866>
65. Oliveira, J., Oliva-Teles, A., & Couto, A. (2024). Tracking biomarkers for the health and welfare of aquaculture fish. *Fishes*, 9(7), 289. <https://doi.org/10.3390/fishes9070289>
66. Ott, B. D., Chisolm, D. O., & Pfeiffer, T. J. (2025). Postprandial oxygen consumption, ammonia excretion and carbon dioxide production of channel and blue catfish. *Journal of Fish Biology*, 107(2), 603–612. <https://doi.org/10.1111/jfb.70065>
67. Overton, J. L., Damsgård, B., D'Angelo, L., Fjelldal, P. G., Glover, K. A., Handeland, S. O., & Overli, O. (2022). Fish welfare in aquaculture: Expanding our biological understanding to sustain and improve production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 32(1), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09677-5>
68. Perenguez Riofrio, L. C., da Luz, S. L., Santarosa, I. M., de Castro, M. A., dos Santos, E. D., de França, L. C. K., Hoffmann, K., Owatari, M. S., Brum, A., & Magnotti, C. (2025). Ultrasonography is a valuable tool for assisting in marine fish reproduction: Applications in Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) and lebranche mullet (*Mugil liza*). *Fishes*, 10(7), 312. <https://doi.org/10.3390/fishes10070312>
69. Pietsch, C., Pawlak, P., & Konrad, J. (2024). Acute stress effects over time on the gene expression and neurotransmitter patterns in the carp (*Cyprinus carpio*) brain. *Animals*, 14(23), 3413. <https://doi.org/10.3390/ani14233413>
70. Pietsch, C. (2025). Editorial: Fish Welfare in Aquaculture and Research – Where Are We Going? *Animals*, 15(16), 2367. <https://doi.org/10.3390/ani15162367>
71. Poli, B. M., Parisi, G., Scappini, F., & Zampacavallo, G. (2019). Farmed fish welfare: Stress, post-mortem muscle metabolism, and stress-related meat quality changes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 45, 1243–1257. <https://doi.org/10.1007/s40071-019-0230-0>
72. Previti, A., Biondi, V., Bruno, F., Castelli, G., Pugliese, M., Vitale, F., Padalino, B., & Passantino, A. (2025). Text mining and topic modeling insights on fish welfare and antimicrobial use in aquaculture. *BMC Veterinary Research*, 21, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12917-025-04544-y>

73. Rahmati-Holasoo, H., Azizzadeh, M., Ebrahimzadeh Mousavi, H., Shokrpour, S., Ziafati Kafi, Z., & Marandi, A. (2024). Histopathological, morphological, and molecular characterization of fish-borne zoonotic parasite *Eustrongylides excisus* infecting northern pike (*Esox lucius*) in Iran. *BMC Veterinary Research*, 20, 291. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04146-0>
74. Raposo, A., Reading, B., Frinsko, M., & Roberts, D. L. (2025). A Study Toward More Ethical Commercial Aquaculture by Leveraging Rheotaxis. *Animals*, 15(20), 2961. <https://doi.org/10.3390/ani15202961>
75. Rathor, G. S., & Swain, B. (2024). Advancements in fish vaccination: Current innovations and future horizons in aquaculture health management. *Applied Sciences*, 14(13), 5672. <https://doi.org/10.3390/app14135672>
76. Reda, R. M., El-Murr, A., Abdel-Basset, N. A., Metwally, M. M., & Ibrahim, R. E. (2024). Implications of ammonia stress for the pathogenicity of *Shewanella* spp. in *Oreochromis niloticus*: effects on hematological, biochemical, immunological, and histopathological parameters. *BMC Veterinary Research*, 20, 324. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04175-9>
77. Roberts, S., Jacquet, J., Majluf, P., & Hayek, M. N. (2024). Feeding global aquaculture. *Science Advances*, 10(42), 9698. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adn9698>
78. Sahadevan, P. (2025). Fish welfare matters: Why science and ethics must align? *Fisheries Journal*, 13(2C), 195–197. <https://doi.org/10.22271/fish.2025.v13.i2c.3064>
79. Sánchez-Velázquez, J., Peña-Herrejón, G. A., & Aguirre-Becerra, H. (2024). Fish Responses to Alternative Feeding Ingredients under Abiotic Chronic Stress. *Animals*, 14(5), 765. <https://doi.org/10.3390/ani14050765>
80. Sarwar, A., & Iqbal, M. T. (2022). IoT-Based Real-Time Aquaculture Health Monitoring System. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 6(4), 455. <https://doi.org/10.24018/ejece.2022.6.4.455>
81. Sen Sarma, O., Frymus, N., Axling, F., Thörnqvist, P.-O., Roman, E., & Winberg, S. (2023). Optimizing zebrafish rearing – Effects of fish density and environmental enrichment. *Frontiers in Behavioural Neuroscience*, 17, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1204021>
82. Shimizu, N., Shiraishi, H., & Hanada, T. (2023). Zebrafish as a useful model system for human liver disease. *Cells*, 12(18), 2246. <https://doi.org/10.3390/cells12182246>
83. Shyam, K. U., Kim, H. J., Kole, S., Oh, M. J., Kim, C. S., Kim, D. H., & Kim, W. S. (2022). Antibody-based lateral flow chromatographic assays for detecting fish and shrimp pathogens: A technical review. *Aquaculture*, 558, 738345. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738345>
84. Silva, M. I. d., Silva, V. F. d., Goes, M. D., Cardoso, S. U., Baumgartner, L. A., Souza, M. L. R. d., Honorato, C. A., Bombardelli, R. A., & Goes, E. S. R. (2025). Pre-slaughter rest is effective in improving the physiology and quality

- of *Nile tilapia* fillets subjected to in vivo transportation at high densities. *Foods*, 14(13), 2279. <https://doi.org/10.3390/foods14132279>
- 85.Sloman, K. A. (2019). Ethical considerations in fish research. *Journal of Fish Biology*, 94(4), 556–577. <https://doi.org/10.1111/jfb.13946>
- 86.Smith, S. A. (2023). Fish welfare in public aquariums and zoological collections. *Animals*, 13(16), 2548. <https://doi.org/10.3390/ani13162548>
- 87.Stoyanova, S., Sirakov, I., & Velichkova, K. (2024). Sustainable Production: Integrating Medicinal Plants with Fish Farming in Aquaponics – A Mini Review. *Sustainability*, 16(15), 6337. <https://doi.org/10.3390/su16156337>
- 88.Sukumaran, A., Thomas, T., Thomas, R., Thomas, R. E., Paul, J. K., & Vasudevan, D. M. (2021). Development and troubleshooting in lateral flow immunochromatography assays. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 36(2), 208–212. <https://doi.org/10.1007/s12291-020-00887->
- 89.Syanya, F. J., Mathia, W. M., & Harikrishnan, M. (2023). Current status and trend on the adoption of fish feed additives for sustainable tilapia aquaculture production: A review. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 22(3), 10–25. <https://doi.org/10.9734/AJFAR/2023/v22i3571>
- 90.Szychlińska, M. A., & Marino Gammazza, A. (2025). The Zebrafish Model in Animal and Human Health Research. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(5), 1945. <https://doi.org/10.3390/ijms26051945>
- 91.Tammas, I., Bitchava, K., & Gelasakis, A. I. (2024). Transforming aquaculture through vaccination: A review on recent developments and milestones. *Vaccines*, 12(7), 732. <https://doi.org/10.3390/vaccines12070732>
- 92.Thompson, W. A., & Vijayan, M. M. (2022). Antidepressants as endocrine disrupting compounds in fish. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 895064. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.895064>
- 93.Torgerson-White, L., & Sánchez-Suárez, W. (2022). Looking beyond the shoal: Fish welfare as an individual attribute. *Animals*, 12(19), 2592. <https://doi.org/10.3390/ani12192592>
- 94.Torres-Maravilla, E., Parra, M., Maisey, K., Vargas, R. A., Cabezas-Cruz, A., Gonzalez, A., Tello, M., & Bermúdez-Humarán, L. G. (2024). Importance of Probiotics in Fish Aquaculture: Towards the Identification and Design of Novel Probiotics. *Microorganisms*, 12(3), 626. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030626>
- 95.Turnbull, J. F. (2022). The Complex Influences on How We Care for Farmed Fish. *Frontiers in Aquaculture / Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.765797>
- 96.Tyagi, V., Balian, R., Kumari, A., Yasmin, R., Mishra, I., & Nath, P. (2025). Importance of diagnostics in effective disease control in aquaculture and fisheries. *Journal of Neonatal Surgery*, 14(11S), 645–654. <https://www.jneonatsurg.com/index.php/jns/article/view/3037>

97. Witeska, M., Kondera, E., & Bojarski, B. (2023). Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology – A review. *Animals*, 13(16), 2625. <https://doi.org/10.3390/ani13162625>
98. Yadava, K. K., Vartak, V. R., Brar, K. S., & Gore, S. B. (2024). Advanced techniques for fish health assessment and treatment. *Innovations and ethical practices for aquaculture production*, 35–86.
99. Yang, Y., Phillips, C., Narayan, E., Shao, Q. & Descovich, K. (2025). Attitudes of Chinese aquaculture stakeholders towards live transport and farmed fish welfare, with a focus on the Hunan region. *Aquaculture International*, 33, 300–332. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-01975-0>
100. Yuan, M., Fang, Q., Lu, W., Wang, X., Hao, T., & Chong, C.-M. (2025). Stress in fish: Neuroendocrine and neurotransmitter responses. *Fishes*, 10(7), 307. <https://doi.org/10.3390/fishes10070307>
101. Zhu, T., Li, X., Wu, X., & Yang, D. (2022). Temperature acclimation alters the thermal tolerance and intestinal heat stress response in a Tibetan fish *Oxygymnocypris stewarti*. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.898145>

Стаття надійшла до редакції 11 жовтня 2025 року.

Стаття пройшла рецензування 12 листопада 2025 року.

Стаття опублікована 18 грудня 2025 року.