

Бінкевич Володимир,

кандидат ветеринарних наук, доцент,
доцент кафедри ветеринарно-санітарного інспектування
Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій імені С.Гжицького, м.Львів, Україна
ORCID ID:0009-0001-6234-7814
e-mail: binkevych_volodymyr@ukr.net

Фаріонік Тарас,

кандидат ветеринарних наук, доцент,
декан факультету ветеринарної медицини
кафедра ветеринарної гігієни, санітарії і експертизи
Вінницький національний аграрний університет м.Вінниця, Україна
ORCID ID: 0000-0002-0706-2445
e-mail: farionik19@gmail.com

Колечко Аліна,

доктор філософії з ветеринарної медицини,
старший викладач кафедри ветеринарної гігієни, санітарії і експертизи
Вінницький національний аграрний університет м.Вінниця, Україна
ORCID ID: 0000-0002-8644-3616
e-mail: alinakolechko@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ В УМОВАХ ГАРМОНІЗАЦІЇ ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ З ВИМОГАМИ ЄС

Анотація

Актуальність. Удосконалення методів лабораторного контролю якості харчової сировини набуває особливого значення в умовах гармонізації законодавства України з вимогами Європейського Союзу, оскільки сучасна система контролю має забезпечувати не лише виявлення окремих відхилень, а й аналітичну точність, відтворюваність, оперативність та регуляторну придатність результатів. Актуальність проблеми посилюється складністю самої харчової сировини як об'єкта контролю, для якого характерне поєднання мікробіологічних, токсикологічних та хімічних ризиків.

Мета дослідження. Вивчити сучасний стан удосконалення методів лабораторного контролю якості харчової сировини в умовах гармонізації законодавства України з вимогами ЄС.

Методи аналізу. Застосовано бібліографічний, аналітичний, порівняльний та узагальнювальний методи. Проведено систематизацію сучасних наукових публікацій, присвячених мікробіологічним, молекулярним, хромато-мас-спектрометричним та мультимедійним підходам до контролю харчової сировини, а також оцінено їх значення для адаптації національної лабораторної практики до європейських вимог.

Отримані результати. Встановлено, що сучасне удосконалення лабораторного контролю відбувається за трьома ключовими напрямками: розширення багатокomпонентності аналізу, впровадження регуляторно валідованих методів та інтеграція лабораторного результату до системи офіційного ризик-орієнтованого контролю. Показано, що у сфері мікробіологічного контролю відбувається перехід від переважно класичних культуральних схем до швидких молекулярних та сенсорних методів, які скорочують тривалість аналізу та підвищують оперативність реагування. У токсикологічному та хімічному сегментах визначено різке зростання аналітичної місткості методів, що дало змогу одночасно контролювати широкий спектр мікотоксинів, пестицидів, антибіотиків, біоцидів та ветеринарних препаратів у різних типах сировини. Водночас виявлено, що поруч із технологічним прогресом зберігаються проблеми міжлабораторної уніфікації, стандартизації інтерпретації багатокomпонентних результатів, подолання матричних ефектів та широкого впровадження високотехнологічних платформ у рутинну практику.

Практична цінність роботи. Практична цінність полягає в узагальненні сучасних напрямів модернізації лабораторного контролю харчової сировини та визначення тих методичних підходів, які є найперспективнішими для впровадження в національну систему офіційного контролю в умовах гармонізації з вимогами ЄС.

Висновки. Удосконалення лабораторного контролю якості харчової сировини слід розглядати як перехід до комплексного, стандартизованого та регуляторно сумісного аналізу. Основними результатами такого удосконалення є підвищення аналітичної місткості методів, скорочення часу отримання результатів, розширення спектру контрольованих контамінантів та наближення лабораторної практики до європейської моделі офіційного контролю. Водночас подальше розвиток цієї сфери потребує уніфікації методик, зміцнення міжлабораторної валідації та підвищення доступності високотехнологічного аналітичного обладнання.

Ключові слова: безпечність, харчові продукти, законодавства, мікробіологічний контроль, офіційний контроль.

Вступ. Удосконалення методів лабораторного контролю якості харчової сировини в сучасних умовах набуває особливого значення не лише через потребу забезпечення безпеки продукції, а й через необхідність приведення національної системи контролю у відповідність до підходів, що діють у країнах Європейського Союзу (ЄС). За таких умов лабораторний контроль не може обмежуватися лише виявленням окремих відхилень у сировині. Він має забезпечувати аналітичну точність, відтворюваність, оперативність отримання результатів та придатність методів до використання у системі офіційного контролю. Саме тому питання модернізації лабораторних підходів сьогодні безпосередньо пов'язане з ефективністю державного нагляду за безпечністю харчової сировини, об'єктивністю оцінки ризиків і довірою до результатів лабораторних досліджень [1, 2]. Поряд з цим, сучасні європейські підходи до оцінки безпеки харчової продукції дедалі більше орієнтуються на порівняльний аналіз ризиків, системне виявлення порушень та використання уніфікованих критеріїв аналітичної оцінки, що підсилює вимоги до лабораторної бази контролю [3].

Актуальність цієї проблеми зумовлена тим, що харчова сировина залишається складним багатокomпонентним об'єктом контролю, для якого характерне одночасно існування мікробіологічних, токсикологічних і хімічних ризиків. У мікробіологічному сегменті особливу увагу привертає необхідність

швидкого та достовірного виявлення патогенних мікроорганізмів, насамперед *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* та *Staphylococcus aureus*. Саме тому сучасні дослідження зосереджені на зіставленні альтернативних сертифікованих методів виявлення патогенів із традиційними підходами, а також на розробці мультиплексних молекулярних платформ, здатних одночасно виявляти кілька небезпечних збудників [4, 5]. Паралельно розвиваються швидкі сенсорні та ізотермічні методи, зокрема колориметричні aptasensor-платформи та real-time LAMP, які скорочують час аналізу та підвищують чутливість контролю у реальних виробничих умовах [6, 7]. Практичну цінність мають і дослідження, у яких продемонстровано можливість прямого визначення харчових патогенів у м'ясній сировині без етапу тривалого культурального збагачення, що свідчить про перехід від чисто класичних схем до прискорених аналітичних моделей [8].

Не менш вагомою залишається проблема контамінації харчової сировини мікотоксинами, яка має безпосередній зв'язок із безпечністю зернової, кормової та похідної харчової продукції. Сучасні аналітичні розробки в цій сфері спрямовані на створення багатоаналітичних високочутливих методів, здатних одночасно виявляти кілька груп мікотоксинів у складних матрицях. Показовими є валідовані LC-MS/MS-підходи до визначення афлатоксинів, фумонізинів, дезоксиніваленолу, охратоксину А, зеараленону, Т-2 та НТ-2 токсинів у зерновій сировині, дитячому харчуванні, спеціях та кормах [9]. Дані багаторічного моніторингу кукурудзи та кормового сировини підтверджують, що проблема мікотоксикологічного контролю має не епізодичний, а системний характер, а отже потребує стабільних лабораторних алгоритмів спостереження та оцінки ризику [10, 11].

Окремий напрямок сучасного лабораторного контролю пов'язаний із визначенням залишкових кількостей пестицидів у рослинній харчовій сировині. Посилення регуляторних вимог до безпеки овочевої та рослинної продукції обумовлює необхідність застосування валідованих мультизалишкових методів, що поєднують високу чутливість із можливістю рутинного лабораторного використання. Саме таку тенденцію відображають дослідження, присвячені валідації методів для визначення широкого спектру пестицидів у помідорах, а також оцінці їх вмісту в перці з позицій якості та ризику для здоров'я [12, 13]. Аналогічно, використання QuEChERS в поєднанні з тандемною мас-спектрометрією демонструє високу аналітичну ефективність у контролі виноградного листа та інших рослинних матриць [14]. Важливим є те, що сучасний хімічний контроль дедалі частіше охоплює не лише класичні пестициди, а й інші групи забруднювачів, зокрема антибіотики в картоплях та супутніх ґрунтових зразках, що розширює саме поняття безпеки харчової сировини [15].

Поглиблення вимог до лабораторного контролю особливо чітко простежується у сфері визначення ветеринарних препаратів та біоцидів у сировині тваринного походження. Тут ключове значення набуває не тільки факту виявлення речовини, а й повної відповідності аналітичного методу критеріям

валідації, прийнятим у європейській регуляторній практиці. Дослідження останніх років демонструють активне впровадження високороздільної та тандемної мас-спектрометрії для визначення біоцидів у молочній продукції, а також антибіотиків у молоці різних видів сільськогосподарських тварин [16, 17]. Водночас багатоаналітні методи, орієнтовані на визначення залишків антибіотиків, вже прямо розробляються з урахуванням вимог європейської регуляторної системи нормативного лабораторного контролю [18]. Аналогічний підхід застосовується при створенні UPLC-MS/MS- та LC-MS/MS-методик для виявлення β -агоністів та заборонених ветеринарних препаратів у сировині тваринного походження, де валідація розглядається як обов'язкова умова аналітичної придатності методу для офіційного контролю [19, 20].

Отже, проблема полягає в тому, що в умовах гармонізації законодавства України з вимогами ЄС традиційні схеми лабораторного контролю вже не повною мірою відповідають сучасним викликам. Обмеження лише класичними методами аналізу знижує швидкість реагування на ризики, ускладнює багатокомпонентне виявлення контамінантів і не завжди забезпечує той рівень аналітичної доказовості, який потрібний для системи офіційного контролю [1, 2, 17]. Саме тому виникає потреба в науковому обґрунтуванні напрямів удосконалення лабораторного контролю якості харчової сировини з урахуванням сучасних мікробіологічних, молекулярних, хромато-мас-спектрометричних та мультизалишкових підходів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

У сучасних дослідженнях, присвячених лабораторному контролю харчової сировини, чітко простежується перехід від ізольованого застосування класичних методів до поєднання стандартизованих референтних підходів із прискореними молекулярними, сенсорними та багатоаналітними платформами. У мікробіологічному напрямі Chikhi та ін. [1] показали, що альтернативні сертифіковані методи виявлення *Listeria monocytogenes* вже розглядаються в Європі як реальний інструмент офіційного контролю, однак їх використання потребує чітких критеріїв прийнятності та узгодження з вимогами референтної мережі. Це дослідження фактично підтвердило, що для сучасної системи контролю важливим є не лише сам факт виявлення патогена, а й офіційне визнання методики, її відтворюваність і порівнюваність у міжлабораторному середовищі [1].

Своєю чергою Traversa та ін. [2] довели, що результативність офіційного харчового контролю залежить не тільки від лабораторного тесту, а й від того, наскільки аудит інтегрує оцінку системи управління безпечністю харчових продуктів і рівня культури безпечності на підприємстві. Wolniak та Grebski [3] на підставі порівняльного аналізу країн ЄС підтвердили, що безпечність харчових продуктів у європейському просторі сьогодні оцінюється як багатофакторна система, де поряд із лабораторними індикаторами вагоме значення мають RASFF-сповіщення, порушення щодо залишків пестицидів і втрати харчової продукції.

Подальший розвиток мікробіологічного контролю пов'язаний із впровадженням прискорених молекулярних методів. Хуе та ін. [4] розробили систему для одночасного визначення патогенних мікроорганізмів та показали високу лінійність і ефективність ампліфікації, що підтвердило придатність такого підходу до швидкого скринінгу харчових зразків. Ду та ін. [6], von Hertwig та ін. [7], Turanoglu та ін. [8] показали, що сучасні технології можуть бути використана для визначення харчових патогенів у більш короткий час. Сукупно ці праці доводять, що сучасний мікробіологічний контроль рухається в напрямі прискорення аналізу, збереження високої специфічності та перенесення частини процедур ближче до реальних умов виробництва [4–8].

У дослідженнях, присвячених мікотоксинам, Leeman та ін. [9] підтвердили, що LC-MS/MS-метод у поєднанні з імуноафінною підготовкою проб може забезпечувати одночасне визначення 12 мікотоксинів у семи різних матрицях із прийнятними характеристиками продуктивності. Nji та Mwanza [10], проаналізувавши 752 зразків кукурудзи за три роки, показали широкий спектр одночасної контамінації зернової сировини різними мікотоксинами, що підтвердило системний, а не поодинокий характер цієї проблеми. Skrzydlewski та ін. [11] у чотирирічному моніторинговому дослідженні сировини та кормів довели високу поширеність мікотоксинів і часте співіснування кількох токсинів в одному зразку. Ці результати переконливо свідчать, що лабораторний контроль мікотоксинів повинен спиратися не на визначення одного маркера, а на багатоаналітні схеми та регулярне довготривале спостереження [9–11].

У дослідженнях, присвячених залишкам пестицидів, Shrestha та ін. [12] показали, що валідований LC-MS/MS-метод для томатної матриці може забезпечувати швидке, точне й надійне кількісне визначення пестицидів різних хімічних класів, а також коректну оцінку невизначеності вимірювань. Alminderej та ін. [13] при аналізі 536 зразків перцю підтвердили високу частоту виявлення залишків пестицидів і продемонстрували, що частина зразків перевищувала встановлені максимальні рівні, що прямо вказує на необхідність регулярного лабораторного нагляду. Keklik та ін. [14], дослідивши 766 зразків виноградного листя, довели придатність комбінації QuEChERS і LC-MS/MS для аналізу понад 500 залишків, а також показали, що така методика відповідає критеріям лінійності, точності, прецизійності та невизначеності. Khaled та ін. [15] розширили межі хімічного контролю, розробивши та валідуючи за вимогами Commission Implementing Regulation (EU) 2021/808 LC-MS/MS-метод визначення тетрациклінів у картоплі та ґрунті.

Важливий напрям сучасних досліджень стосується залишків біоцидів, антибіотиків і ветеринарних препаратів у сировині тваринного походження. Dos Santos та ін. [16] показали, що QuEChERS-екстракція без стадії очищення у поєднанні з LC-ESI-QOrbitrap-MS дозволяє чутливо й надійно визначати широкий спектр біоцидів у молочній продукції та кормових субстратах. Salis та ін. [17] довели, що LC-Orbitrap-HRMS-скринінг антибіотиків у коров'ячому, овечому та козячому молоці є ефективним рішенням для рутинного офіційного контролю. Pieragostini та ін. [19] розробили якісний UPLC-MS/MS-скринінговий

метод для 21 β -агоніста в легенях і печінці тварин та показали його відповідність вимогам ЄС щодо скринінгу на рівні половини MRPL. Gaugain та ін. [20] валідовали мультикласовий LC-MS/MS-метод для заборонених ветеринарних препаратів у ковбасних оболонках, чим підтвердили можливість поширення регуляторно сумісного контролю і на менш типові матриці тваринного походження. У сукупності ці роботи доводять, що саме високо- та надвисокоєфективні мас-спектрометричні платформи нині формують основу сучасного хімічного лабораторного контролю в системі, орієнтованій на стандарти ЄС [16–20].

Мета. Вивчити сучасний стан удосконалення методів лабораторного контролю якості харчової сировини в умовах гармонізації законодавства України з вимогами ЄС.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Удосконалення лабораторного контролю якості харчової сировини в умовах гармонізації з вимогами ЄС відбувається не в одному, а в кількох взаємопов'язаних напрямках. Насамперед змінюється сама підхід до контролю: від фрагментарного визначення окремих показників до комплексної аналітичної оцінки безпечності сировини, яка поєднує мікробіологічний, токсикологічний та хімічний компоненти. Поряд із цим посилюється вимога до регуляторної придатності методів, тобто їхньої валідованості, відтворюваності, зіставності результатів між лабораторіями та можливості використання в системі офіційного контролю [1, 2]. Це означає, що сучасне удосконалення методів уже не зводиться лише до підвищення чутливості аналізу, а охоплює також стандартизацію процедур, розширення переліку контрольованих сполук і перехід до багатоаналітичних платформ [3].

У сфері мікробіологічного контролю відбулося суттєве зміщення від переважно культуральних схем до швидких молекулярних і сенсорних методів. Якщо традиційні підходи забезпечують високу надійність, але потребують тривалого часу на вирощування культур і підтвердження результату, то сучасні методики орієнтовані на прискорене виявлення патогенів без втрати аналітичної якості. Показовим є те, що Хуе та ін. розробили мультиплексну TaqMan real-time PCR-систему для одночасного визначення чотирьох харчових патогенів, що принципово підвищує інформативність одного аналізу та зменшує кількість окремих тестів [4]. Abalo та ін. підтвердили ефективність флуоресценції в реальному часі та колориметричний LAMP для виявлення *Listeria monocytogenes* на поверхнях харчового виробництва, що розширює можливості саме виробничого моніторингу, а не лише кінцевого лабораторного підтвердження [5].

Важливим наслідком таких змін стало розширення функціональних можливостей мікробіологічного контролю. Зокрема, von Hertwig та співавт. довели доцільність використання РМА-*qPCR* для кількісної оцінки життєздатної *Salmonella*, що частково вирішує одну з ключових проблем молекулярної діагностики – відмежування живих клітин від нежиттєздатних [7]. Turanoglu та ін. підтвердили можливість визначення харчових патогенів у фарші методом

real-time PCR без попереднього культурального збагачення, а це прямо скорочує час ухвалення лабораторного рішення [8]. Водночас аналіз цих робіт показує, що повного витіснення класичних методів не відбулося. Невирішеною залишається проблема універсальної стандартизації швидких методик для всіх матриць харчової сировини, а також питання їх повної арбітражної прийнятності в системі офіційного контролю [1, 5]. Отже, удосконалення привело до прискорення мікробіологічного аналізу та розширення скринінгових можливостей, але не усунуло потреби в референтному підтвердженні результатів.

У сфері мікотоксикологічного контролю удосконалення полягає в переході від визначення окремих токсинів до багатоаналітичних методів, придатних для кількох типів сировини. Leeman та ін. валидовали метод, який дає можливість одночасно визначати 12 мікотоксинів у семи різних матрицях, тим самим істотно розширивши аналітичну місткість одного дослідження [9]. Це має принципове значення для лабораторної практики, оскільки мікотоксична контамінація в реальних умовах рідко обмежується лише одним токсином. Удосконалення методів у цьому сегменті привело до переходу від одномірної моделі оцінки ризику до багатокомпонентного токсикологічного моніторингу. Проте невирішеною залишається проблема інтерпретації комбінованої дії кількох токсинів, оскільки наявність валидованого аналітичного методу ще не означає повної ясності щодо токсикологічного навантаження сумішей [10, 11].

Ще один напрям удосконалення виявлено у контролі пестицидів та інших хімічних забруднювачів у рослинній сировині. Тут ключові зміни пов'язані з впровадженням мультизалишкових LC-MS/MS-платформ і стандартизованих схем підготовки проб. Shrestha та ін. показали, що валидований LC-MS/MS-метод у томатній матриці забезпечує одночасно точність, відтворюваність і контроль невизначеності вимірювань, тобто удосконалення торкнулося не тільки чутливості, а й метрологічної надійності результату [12]. Разом із тим невирішеними залишаються питання високої вартості обладнання, матричних ефектів при аналізі складних зразків і потреби уніфікації процедур пробопідготовки між лабораторіями [12, 14].

Також є блок результатів пов'язаний із визначенням біоцидів, антибіотиків, β -агоністів та інших ветеринарних препаратів у сировині тваринного походження. Саме тут найчіткіше простежується зближення лабораторної аналітики з регуляторними вимогами ЄС [20]. У підсумку саме цей сегмент демонструє найбільш завершене регуляторне оформлення удосконалених методів: вони не просто чутливі, а вже від початку розробляються як придатні до офіційного контролю. Однак і тут залишаються проблеми: потреба у висококваліфікованому персоналі, у складній інтерпретації багатокомпонентних хромато-мас-спектрометричних даних та у фінансово доступному масштабуванні таких рішень для рутинної лабораторної мережі [17, 19]. Узагальнення наведених результатів дало змогу систематизувати основні напрями удосконалення лабораторного контролю, їхні наслідки та невирішені питання (табл. 1).

Таблиця 1.

Основні напрями удосконалення лабораторного контролю якості харчової сировини та їх науково-практичні наслідки

Удосконалення	Що саме удосконалено	Результат	Невирішені проблеми	Джерело
Мікробіологічний контроль патогенів	Перехід від одиничних культуральних тестів до мультиплексної PCR, LAMP та aptasensor-платформ	Скорочення часу аналізу, одночасне виявлення кількох патогенів, підвищення придатності до виробничого моніторингу	Не повністю уніфікована арбітражна придатність швидких методів для всіх матриць	[1, 4, 6, 6, 8]
Оцінка життєздатності мікроорганізмів	Впровадження РМА-qPCR для відмежування життєздатних клітин від нежиттєздатних	Підвищення клініко-санітарної значущості молекулярного результату	Потреба подальшої стандартизації для різних харчових матриць	[7]
Контроль мікотоксинів	Перехід до багатоаналітичних LC-MS/MS-методів у кількох матрицях	Одночасне визначення кількох токсинів, виявлення мультиконтамінації, краща оцінка ризику	Недостатня визначеність щодо комбінованого токсичного ефекту сумішей	[9, 10, 11]
Контроль пестицидів у рослинній сировині	Впровадження мультизалишкових LC-MS/MS-методів і QuEChERS	Різке зростання аналітичної місткості, можливість рутинного контролю сотень сполук	Висока вартість оснащення, матричні ефекти, складність уніфікації пробопідготовки	[12, 13, 14]
Контроль ветеринарних препаратів і біоцидів	Розробка регуляторно сумісних HRMS/MS- та UPLC-MS/MS-платформ відповідно до EU 2021/808	Перехід від локального визначення окремих речовин до офіційно придатного багатокомпонентного скринінгу	Потреба у фахівцях високої кваліфікації та в розширенні доступності обладнання	[15-20]
Інтеграція лабораторного контролю в систему офіційного нагляду	Посилення ролі валідації, аудиту, порівнюваності результатів і ризик-орієнтованого підходу	Зближення лабораторної практики з європейською моделлю офіційного контролю	Потреба в міжлабораторній гармонізації та єдиній інтерпретації результатів	[1, 2, 3]

Аналіз результатів показав, що головним ефектом удосконалення стало розширення аналітичної місткості сучасних методів. Інакше кажучи, один аналітичний цикл почав давати значно більше інформації, ніж це було можливо в межах традиційних підходів. Це проявляється як у кількості патогенів, що визначаються в одній реакції, так і в кількості хімічних сполук, які можуть бути проконтрольовані в межах однієї валідованої методики (табл. 2).

Таблиця 2.

Кількісні показники аналітичних можливостей сучасних методів лабораторного контролю харчової сировини

Автор	Об'єкт контролю	Метод	Показник	Наукове значення результату
Хуе та ін.	Харчові зразки	TaqMan multiplex real-time PCR	4 патогени в одній реакції	Перехід до одночасного мікробіологічного скринінгу кількох ключових патогенів
Leeman та ін.	Зернові, дитяче харчування, спеції, корми	IAC та LC-MS/MS	12 мікотоксинів у 7 матрицях	Багатоаналітний міжматричний підхід до токсикологічного контролю
Nji & Mwanza	Кукурудза	Мульти-мікотоксинний аналіз	752 зразки за 3 роки	Підтвердження системного характеру мультиконтамінації зернової сировини
Skrzydlewski та ін.	Корми і сировина	Моніторинговий мікотоксинний контроль	4-річне спостереження (2021–2024)	Доведення стабільності проблеми мікотоксинів у довготривалому нагляді
Alminderej та ін.	Перець	LC-MS/MS-моніторинг	536 зразків	Підтвердження практичної потреби в рутинному контролі пестицидів
Keklik та ін.	Виноградне листя	QuEChERS + LC-MS/MS	766 зразків; понад 500 залишків	Різке підвищення аналітичної місткості мультизалишкового контролю
Rodrigues та ін.	Мед	UHPLC-TOF-MS	15 антибіотиків	Розширення регуляторно сумісного контролю залишків у складних матрицях
Pieragostini та ін.	Легені та печінка тварин	UPLC-MS/MS	21 β-агоніст	Поглиблення офіційного скринінгу заборонених речовин у тваринній сировині

Сучасні удосконалення дали не лінійний, а якісний приріст можливостей лабораторного контролю. Якщо в молекулярній мікробіології приріст виражається в переході до одночасного визначення кількох патогенів у межах однієї реакції [4], то в хімічному аналізі цей прогрес набуває ще більш виразного масштабу: від контролю 12 мікотоксинів у кількох матрицях [9] до скринінгу 15 антибіотиків [18], 21 β -агоніста [19] та понад 500 пестицидних залишків в одному методичному контурі [14]. Це означає, що сучасна лабораторія поступово переходить від моделі «один метод – один показник» до моделі «один метод – широкий профіль ризиків». Саме така трансформація і відповідає логіці європейської системи контролю, орієнтованої на швидке виявлення комплексних загроз та прийняття обґрунтованих рішень на основі валідованих даних [2, 3].

Разом із тим результати дослідження показали, що навіть істотне аналітичне удосконалення не усуває всіх проблем лабораторного контролю. Частина швидких методів залишається чутливою до матричних ефектів, а отже потребує додаткової адаптації для різних видів харчової сировини [6, 12]. Зростання кількості визначуваних аналітів ускладнює стандартизацію інтерпретації результатів, особливо коли йдеться про мультиконтамінацію або складні багатоконпонентні профілі забруднення [10, 11]. Високотехнологічні HRMS- і UPLC-MS/MS-платформи потребують значних фінансових ресурсів, належної сервісної підтримки та підготовки персоналу, що може стримувати їх широке впровадження в рутинну лабораторну практику [16, 17]. Гармонізація з вимогами ЄС вимагає не лише наявності сучасного обладнання, а й функціонування системи міжлабораторної валідації, зовнішнього контролю якості та єдиних підходів до оцінки придатності методів в офіційному контролі [1, 15]. Отже, подальший розвиток цієї сфери має бути спрямований уже не тільки на створення нових методів, а й на їх повномасштабне інституційне впровадження.

Результати дослідження свідчать, що удосконалення лабораторного контролю якості харчової сировини в умовах гармонізації законодавства України з вимогами ЄС відбувається за трьома ключовими векторами: багатоконпонентність аналізу, регуляторна валідація методів та інтеграція лабораторного результату в систему офіційного ризик-орієнтованого контролю. Саме ці зміни привели до підвищення аналітичної місткості методів, скорочення часу отримання результату, розширення спектра контрольованих контамінантів і кращої пристосованості лабораторної практики до європейських вимог [1, 10, 11, 15]. Водночас невирішеними залишаються питання міжлабораторної уніфікації, економічної доступності високотехнологічних платформ, стандартизації інтерпретації багатоконпонентних результатів та повного перенесення валідованих методик із дослідницького середовища в рутинну систему державного контролю.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Удосконалення лабораторного контролю якості харчової сировини в сучасних умовах полягає у

переході від вузького визначення окремих показників до комплексного, багатокомпонентного та стандартизованого аналізу. Основна тенденція полягає не лише в підвищенні чутливості методів, а в забезпеченні їх відтворюваності, валідованості та практичної придатності для системи офіційного контролю.

У мікробіологічному сегменті найбільш суттєвим результатом стало впровадження швидких молекулярних і сенсорних методів, які дозволили скоротити тривалість аналізу, розширити спектр одночасно виявлюваних патогенів і підвищити оперативність лабораторного реагування. Водночас повна відмова від класичних референтних методів поки що є передчасною, оскільки саме вони залишаються основою підтверджувального контролю.

У хімічному та токсикологічному напрямі ключовим досягненням стало різке зростання аналітичної місткості сучасних платформ. Сучасні методи дають змогу в межах одного дослідження одночасно визначати широкий спектр мікотоксинів, пестицидів, антибіотиків, біоцидів і ветеринарних препаратів. Це суттєво посилило інформативність лабораторного контролю та дозволило перейти від локального тестування окремих забруднювачів до комплексного профілювання ризиків.

Водночас навіть за умов суттєвого технологічного прогресу залишаються невирішені питання, пов'язані з уніфікацією пробопідготовки, стандартизацією інтерпретації багатокомпонентних результатів, подоланням матричних ефектів, високою вартістю обладнання та недостатнім рівнем впровадження високотехнологічних методів у рутинну лабораторну практику.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним є розроблення уніфікованих моделей лабораторного контролю, що поєднуюватимуть мікробіологічні, токсикологічні та хімічні показники в єдиній системі оцінки безпечності харчової сировини.

Список використаної літератури

1. Chikhi L., Mancier M., Brugère H., Lombard B., Faouzi L., Guillier L., Gnanou Besse N. Comparison of *Listeria monocytogenes* alternative detection methods for food microbiology official controls in Europe. *International Journal of Food Microbiology*. 2024. Vol. 408. P. 110448. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110448>
2. Traversa A., Rubineti F., Lanzilli S., Bervini R., Bruatto G., Coruzzi E., Gilli M., Mendolicchio A., Osella E., Stassi E., Biglia C. Official food safety audits in large scale retail trades in the time of COVID: System control experiences supported by an innovative approach. *Italian Journal of Food Safety*. 2022. Vol. 11(4). P. 10022. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2022.10022>
3. Wolniak R., Grebski W. W. (2025). Food safety in the European Union: A comparative assessment based on RASFF notifications, pesticide residues, and food waste indicators. *Foods*. 2025. Vol. 14(14). P. 2501. <https://doi.org/10.3390/foods14142501>
4. Xue Y., He S., Li M., Qiu Y. Development and application of four foodborne pathogens by TaqMan multiplex real-time PCR. *Foodborne Pathogens and Disease*. 2025. Vol. 22(3). P. 193–201. <https://doi.org/10.1089/fpd.2023.0134>
5. Abalo M., Lamas A., Teixeira C., Prado M., Garrido-Maestu A. Surface monitoring of *L. monocytogenes* by real-time fluorescence and colorimetric LAMP. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2024. Vol. 108(1). P. 510. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13318-9>

6. Du J., Li Z., Liu K., Guo J., Bai Y. Colorimetric aptasensor for *Listeria monocytogenes* detection using dual functional Fe₃O₄@MIL-100(Fe) with magnetic separation and oxidase-like activities in food samples. *Microchimica Acta*. 2024. Vol. 191(8). P. 504. <https://doi.org/10.1007/s00604-024-06528-5>
7. von Hertwig A. M., Pereira A. A., Amorim Neto D. P., Nascimento M. S. Quantification of viable *Salmonella* by propidium monoazide real-time PCR after long-term storage of peanut products. *Microorganisms*. 2024. Vol. 12(12). P. 2640. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12122640>
8. Turanoglu B., Omeroglu M. A., Baltaci M. O., Adiguzel G., Adiguzel A. Determination of foodborne pathogens in minced beef by real-time PCR without culture enrichment. *Journal of Microbiological Methods*. 2024. Vol. 219. P. 106896. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2024.106896>
9. Leeman D., Allan A. B., Cameron H., Donnelly C., Tramaseur A., Stratton J., MacDonald S. J. Validation of the 11+Myco MS-PREP® method for determination of aflatoxins, fumonisins, deoxynivalenol, ochratoxin A, zearalenone, HT-2, and T-2 toxins in cereals, baby food, spices, and animal feed by immunoaffinity column with LC-MS/MS: AOAC Performance Tested Method SM 112401. *Journal of AOAC International*. 2025. Vol. 108(2). P. 207–252. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsae097>
10. Nji Q. N., Mwanza M. Three-year multi-mycotoxin analysis of South African commercial maize from three provinces. *Frontiers in Fungal Biology*. 2024. Vol. 5. P. 1426782. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2024.1426782>
11. Skrzydlewski P., Kosicki R., Grajewski J., Twarużek M. Four-year surveillance of mycotoxins in feed and raw materials (2021–2024): Occurrence, co-contamination, and risk implications. *Toxicon*. 2025. Vol. 268. P. 108618. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2025.108618>
12. Shrestha S., Lamichhane B., Chaudhary N. Method validation and measurement uncertainty estimation for determination of multiclass pesticide residues in tomato by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). *International Journal of Analytical Chemistry*. 2024. P. 3846392. <https://doi.org/10.1155/2024/3846392>
13. Alminderej F. M., Saleh S. M., Abdallah O. I. Monitoring pesticide residues in pepper (*Capsicum annuum* L.) from Al-Qassim region, Saudi Arabia: Occurrence, quality, and risk evaluations. *Heliyon*. 2024. Vol. 10(17). P. e36805. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36805>
14. Keklik M., Golge O., González-Curbelo M. Á., Kabak B. Determination of pesticide residues in vine leaves using the QuEChERS method and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Foods*. 2024. Vol. 13(6). P. 909. <https://doi.org/10.3390/foods13060909>
15. Khaled O., Ryad L., Eissa F. Determination of tetracycline residues in potatoes and soil by LC-MS/MS: Method development, validation, and risk assessment. *Food Chemistry*. 2024. Vol. 461. P. 140841. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140841>
16. Dos Santos I. D., Zomer P., Pizzutti I. R., Wagner R., Mol H. Multi-residue determination of biocides in dairy products and slurry feed using QuEChERS extraction and liquid chromatography combined with high resolution mass spectrometry (LC-ESI-QOrbitrap™-MS). *Food Chemistry*. 2024. Vol. 457. P. 140117. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140117>
17. Salis S., Rubattu N., Rubattu F., Cossu M., Sanna A., Chessa G. Analytical approaches in official food safety control: An LC-Orbitrap-HRMS screening method for the multiresidue determination of antibiotics in cow, sheep, and goat milk. *Molecules*. 2022. Vol. 27(19). P. 6162. <https://doi.org/10.3390/molecules27196162>
18. Rodrigues H., Leite M., Oliveira M. B. P. P., Freitas A. Multi-analyte method for antibiotic residue determination in honey under EU Regulation 2021/808. *Antibiotics*. 2025. Vol. 14(10). P. 987. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14100987>
19. Pieragostini V., Pecorelli I., Diamanti I., Carloni C., Galarini R., Fioroni L. Veterinary drug residues in animal-origin food: A UPLC-MS/MS screening method for the determination of 21 beta-agonists in animal lung and liver according to Commission Implementing Regulation (EU) 2021/808. *Journal of Mass Spectrometry*. 2026. Vol. 61(2). P. e70029. <https://doi.org/10.1002/jms.70029>

20. Gaugain M., Durot J., Levé L., Dubreil-Chéneau E., Guichard P., Bourcier S., Verdon E., Hurtaud-Pessel D. Multiclass method to analyze banned veterinary drugs in casings by LC-MS/MS: A validation study according to Regulation (EU) 2021/808. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2025. Vol. 73(49). P. 31590–31602. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c08099>

Volodymyr Binkevych,

PhD in Veterinary Science, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Veterinary and Sanitary Inspection, Lviv S.
Gzhytskiy National University of Veterinary Medicine and Biotechnology
Lviv, Ukraine

ORCID: 0009-0001-6234-7814

e-mail: binkevych_volodymyr@ukr.net

Taras Farionik,

PhD in Veterinary Science, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Veterinary Medicine,
Department of Veterinary Hygiene,
Sanitation and Expertise,
Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, Ukraine

ORCID: 0000-0002-0706-2445

e-mail: farionik19@gmail.com

Alina Kolechko,

PhD in Veterinary Science, Senior Lecturer of Department of Veterinary Hygiene,
Sanitation and Expertise,
Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, Ukraine

ORCID: 0000-0002-8644-3616

e-mail: alinakolechko@gmail.com

**IMPROVEMENT OF METHODS OF LABORATORY QUALITY
CONTROL OF FOOD RAW MATERIALS IN THE CONDITIONS OF
HARMONIZATION OF UKRAINIAN LEGISLATION WITH EU
REQUIREMENTS**

Abstract

Relevance. *Improvement of methods of laboratory quality control of food raw materials is of particular importance in the conditions of harmonization of Ukrainian legislation with the requirements of the European Union, since a modern control system must ensure not only the detection of individual deviations, but also analytical accuracy, reproducibility, efficiency and regulatory suitability of results. The relevance of the problem is enhanced by the complexity of food raw materials themselves as an object of control, which is characterized by a combination of microbiological, toxicological and chemical risks.*

Purpose of the study. *To study the current state of improvement of methods of laboratory quality control of food raw materials in the conditions of harmonization of Ukrainian legislation with EU requirements.*

Methods of analysis. Bibliographic, analytical, comparative and generalizing methods were used. A systematization of modern scientific publications devoted to microbiological, molecular, chromatographic-mass spectrometric and multi-residue approaches to the control of food raw materials was carried out, and their significance for the adaptation of national laboratory practice to European requirements was assessed.

Results. It was established that the modern improvement of laboratory control occurs in three key areas: expanding the multicomponent analysis, implementing regulatory validated methods and integrating the laboratory result into the system of official risk-based control. It is shown that in the field of microbiological control there is a transition from mainly classical cultural schemes to rapid molecular and sensory methods that reduce the duration of analysis and increase the efficiency of response. In the toxicological and chemical segments, a sharp increase in the analytical capacity of methods has been identified, which made it possible to simultaneously control a wide range of mycotoxins, pesticides, antibiotics, biocides and veterinary drugs in different types of raw materials. At the same time, it was found that along with technological progress, the problems of interlaboratory unification, standardization of the interpretation of multicomponent results, overcoming matrix effects and widespread implementation of high-tech platforms in routine practice persist.

Practical value of the work. The practical value lies in the generalization of modern directions of modernization of laboratory control of food raw materials and the identification of those methodological approaches that are most promising for implementation in the national system of official control in conditions of harmonization with EU requirements.

Conclusions. Improving laboratory quality control of food raw materials should be considered as a transition to a comprehensive, standardized and regulatory compatible analysis. The main results of such improvement are increasing the analytical capacity of methods, reducing the time to obtain results, expanding the spectrum of controlled contaminants and bringing laboratory practice closer to the European model of official control. At the same time, further development of this area requires unification of methods, strengthening interlaboratory validation and increasing the availability of high-tech analytical equipment.

Keywords: safety, food products, legislation, microbiological control, official control.

References

1. Chikhi, L., Mancier, M., Brugère, H., Lombard, B., Faouzi, L., Guillier, L., & Gnanou Besse, N. (2024). Comparison of *Listeria monocytogenes* alternative detection methods for food microbiology official controls in Europe. *International Journal of Food Microbiology*, 408, 110448. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110448>
2. Traversa, A., Rubineti, F., Lanzilli, S., Bervini, R., Bruatto, G., Coruzzi, E., Gilli, M., Mendolicchio, A., Osella, E., Stassi, E., & Biglia, C. (2022). Official food safety audits in large scale retail trades in the time of COVID: System control experiences supported by an innovative approach. *Italian Journal of Food Safety*, 11(4), 10022. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2022.10022>
3. Wolniak, R., & Grebski, W. W. (2025). Food safety in the European Union: A comparative assessment based on RASFF notifications, pesticide residues, and food waste indicators. *Foods*, 14(14), 2501. <https://doi.org/10.3390/foods14142501>
4. Xue, Y., He, S., Li, M., & Qiu, Y. (2025). Development and application of four foodborne pathogens by TaqMan multiplex real-time PCR. *Foodborne Pathogens and Disease*, 22(3), 193–201. <https://doi.org/10.1089/fpd.2023.0134>
5. Abalo, M., Lamas, A., Teixeira, C., Prado, M., & Garrido-Maestu, A. (2024). Surface monitoring of *L. monocytogenes* by real-time fluorescence and colorimetric LAMP. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108(1), 510. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13318-9>
6. Du, J., Li, Z., Liu, K., Guo, J., & Bai, Y. (2024). Colorimetric aptasensor for *Listeria monocytogenes* detection using dual functional Fe₃O₄@MIL-100(Fe) with magnetic separation and oxidase-like activities in food samples. *Microchimica Acta*, 191(8), 504. <https://doi.org/10.1007/s00604-024-06528-5>

7. von Hertwig, A. M., Pereira, A. A., Amorim Neto, D. P., & Nascimento, M. S. (2024). Quantification of viable Salmonella by propidium monoazide real-time PCR after long-term storage of peanut products. *Microorganisms*, 12(12), 2640. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12122640>
8. Turanoglu, B., Omeroglu, M. A., Baltaci, M. O., Adiguzel, G., & Adiguzel, A. (2024). Determination of foodborne pathogens in minced beef by real-time PCR without culture enrichment. *Journal of Microbiological Methods*, 219, 106896. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2024.106896>
9. Leeman, D., Allan, A. B., Cameron, H., Donnelly, C., Tramaseur, A., Stratton, J., & MacDonald, S. J. (2025). Validation of the 11+Myco MS-PREP® method for determination of aflatoxins, fumonisins, deoxynivalenol, ochratoxin A, zearalenone, HT-2, and T-2 toxins in cereals, baby food, spices, and animal feed by immunoaffinity column with LC-MS/MS: AOAC Performance Tested Method SM 112401. *Journal of AOAC International*, 108(2), 207–252. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsae097>
10. Nji, Q. N., & Mwanza, M. (2024). Three-year multi-mycotoxin analysis of South African commercial maize from three provinces. *Frontiers in Fungal Biology*, 5, 1426782. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2024.1426782>
11. Skrzydlewski, P., Kosicki, R., Grajewski, J., & Twarużek, M. (2025). Four-year surveillance of mycotoxins in feed and raw materials (2021–2024): Occurrence, co-contamination, and risk implications. *Toxicon*, 268, 108618. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2025.108618>
12. Shrestha, S., Lamichhane, B., & Chaudhary, N. (2024). Method validation and measurement uncertainty estimation for determination of multiclass pesticide residues in tomato by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). *International Journal of Analytical Chemistry*, 2024, 3846392. <https://doi.org/10.1155/2024/3846392>
13. Alminderej, F. M., Saleh, S. M., & Abdallah, O. I. (2024). Monitoring pesticide residues in pepper (*Capsicum annum* L.) from Al-Qassim region, Saudi Arabia: Occurrence, quality, and risk evaluations. *Heliyon*, 10(17), e36805. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36805>
14. Keklik, M., Golge, O., González-Curbelo, M. Á., & Kabak, B. (2024). Determination of pesticide residues in vine leaves using the QuEChERS method and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Foods*, 13(6), 909. <https://doi.org/10.3390/foods13060909>
15. Khaled, O., Ryad, L., & Eissa, F. (2024). Determination of tetracycline residues in potatoes and soil by LC-MS/MS: Method development, validation, and risk assessment. *Food Chemistry*, 461, 140841. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140841>
16. Dos Santos, I. D., Zomer, P., Pizzutti, I. R., Wagner, R., & Mol, H. (2024). Multi-residue determination of biocides in dairy products and slurry feed using QuEChERS extraction and liquid chromatography combined with high resolution mass spectrometry (LC-ESI-QOrbitrap™-MS). *Food Chemistry*, 457, 140117. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140117>
17. Salis, S., Rubattu, N., Rubattu, F., Cossu, M., Sanna, A., & Chessa, G. (2022). Analytical approaches in official food safety control: An LC-Orbitrap-HRMS screening method for the multiresidue determination of antibiotics in cow, sheep, and goat milk. *Molecules*, 27(19), 6162. <https://doi.org/10.3390/molecules27196162>
18. Rodrigues, H., Leite, M., Oliveira, M. B. P. P., & Freitas, A. (2025). Multi-analyte method for antibiotic residue determination in honey under EU Regulation 2021/808. *Antibiotics*, 14(10), 987. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14100987>
19. Pieragostini, V., Pecorelli, I., Diamanti, I., Carloni, C., Galarini, R., & Fioroni, L. (2026). Veterinary drug residues in animal-origin food: A UPLC-MS/MS screening method for the determination of 21 beta-agonists in animal lung and liver according to Commission Implementing Regulation (EU) 2021/808. *Journal of Mass Spectrometry*, 61(2), e70029. <https://doi.org/10.1002/jms.70029>
20. Gaugain, M., Durot, J., Levé, L., Dubreil-Chéneau, E., Guichard, P., Bourcier, S., Verdon, E., & Hurtaud-Pessel, D. (2025). Multiclass method to analyze banned veterinary drugs in casings by

Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. 2026, Issue 119

ISSN2707-1162 (online) ISSN 2707-1154 (print)

//Ветеринарні науки//

LC-MS/MS: A validation study according to Regulation (EU) 2021/808. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73(49), 31590–31602. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c08099>

Стаття надійшла до редакції 06.04.2026

Стаття пройшла рецензування 07.05.2026

Стаття опублікована

