


ФАРМАКОЛОГІЯ І ТОКСИКОЛОГІЯ

УДК 614.9:636.08

Сучасні методи визначення залишкових кількостей пестицидів в продуктах бджільництва та за діагностики отруєнь бджіл

Омельчун Ю.А. , Кобиш А.І. *Державний науково-дослідний інститут з лабораторної діагностики та ветеринарно-санітарної експертизи* Омельчун Ю.А. E-mail: my_answer@ukr.net

Омельчун Ю.А., Кобиш А.І. Сучасні методи визначення залишкових кількостей пестицидів в продуктах бджільництва та за діагностики отруєнь бджіл. Науковий вісник ветеринарної медицини, 2022. № 2. С. 101–110.

Omelchun Y., Kobish A. Modern methods for the determination of pesticide residues in beekeeping products and for the diagnostics of bee poisoning. *Nauk. visn. vet. med.*, 2022. № 2. PP. 101–110.

Рукопис отримано: 01.10.2022 р.

Прийнято: 14.10.2022 р.

Затверджено до друку: 27.12.2022 р.

Doi: 10.33245/2310-4902-2022-176-2-101-110

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва пов'язана із застосуванням значної кількості пестицидів, що негативно впливає на довкілля та здоров'я людей, а харчові продукти, зокрема продукти бджільництва, відповідно потребують обов'язкового контролю за залишковими кількостями пестицидів.

Наведено порівняльний аналіз хроматографічних методів виявлення залишків пестицидів та обґрунтована необхідність застосування сучасних методів їх визначення у продуктах бджільництва і за діагностики отруєнь бджіл.

Хроматографічні методи дослідження цих показників у різних типах матриць є пріоритетними. Це ефективні методи аналізу, які широко вживані завдяки своїй універсальності та дозволяють аналізувати складні неорганічні й органічні сполуки у різних агрегатних станах.

Одними з найбільш поширених із сучасних методів визначення залишків пестицидів є газова і рідинна трьохквадрупольна тандемна хромато-мас-спектрометрія (ГХ та/або РХ-МС/МС). Метод ГХ-МС/МС забезпечує кількісне визначення аналітів на рівні, який на порядок вищий ніж, наприклад, метод газової одноквадрупольної мас-спектрометрії.

Сучасні методи газової та рідинної хроматографії в поєднанні з квадрупольно-часпролітним мас-спектрометричним детектуванням (LC/Q-TOF/MS або GC/Q-TOF/MS) також дозволяють проводити якісний і кількісний багатокомпонентний аналіз пестицидів у продуктах бджільництва.

ГХ та РХ системи в поєднанні з МС Orbitrap високої роздільної здатності (GC-HRMS(Q-Orbitrap)/LC-HRMS(Q-Orbitrap)) мають більш високу чутливість, що надає можливість визначати ультрамікрокількості, і є найбільш чутливим скринінговим методом для мультикомпонентного визначення залишків пестицидів.

Отже, новітні хроматографічні методи здатні забезпечити потреби аналітичних випробувальних та науково-дослідних лабораторій у галузі безпеки харчових продуктів, зокрема продуктів бджільництва.

Ключові слова: хроматографічні методи, тонкошарова хроматографія, газова хроматографія, рідинна хроматографія, хромато-мас-спектрометрія, мультикомпонентний аналіз, пестициди, мед бджолиний, загиблі бджоли.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Застосування пестицидів для контролювання комах, гризунів, бур'янів, збудників хвороб, а також як регуляторів росту рослин дає можливість збільшити врожайність і, відповідно, економічну ефективність аграрного виробництва. Водночас ці токсиканти здатні

спричиняти негативний вплив на довкілля, а також змінювати склад і властивості культурних рослин та харчових продуктів [1]. Слід пам'ятати, що навіть малі дози пестицидів можуть призводити до порушень здоров'я людей, тварин та комах [2–6]. Зокрема, досить часто фіксують випадки загибелі бджіл внаслідок

отруєнь інсектицидами [7, 8]. Необхідно враховувати також, що завдяки своїй біологічній активності продукти бджільництва стають все більш популярними. Саме тому необхідно ретельно контролювати вміст залишків пестицидів не лише у сільськогосподарських рослинах, які піддаються безпосередньому їх впливу, а також у продуктах бджільництва.

Залишкові кількості пестицидів суворо регламентуються законодавством усіх розвинених країн, що сприяє безпечному споживанню продуктів харчування. Із збільшенням кількості препаративних форм засобів захисту рослин, які застосовують в сільському господарстві, перелік досліджуваних пестицидів у продуктах також значно розширюється, а допустимі рівні знижуються. Зважаючи на це нормативно-правові вимоги щодо граничних меж виявлення цих аналітів для методів контролю постійно посилюються [9–11].

Мета дослідження. Провести аналіз, узагальнити та порівняти наявні наукові дослідження щодо методів виявлення залишків пестицидів у продуктах бджільництва та за діагностики отруєнь бджіл, які застосовують у сучасній лабораторній практиці.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження проводили в лабораторії газової хроматографії науково-дослідного хіміко-токсикологічного відділу Державного науково-дослідного інституту з лабораторної діагностики та ветеринарно-санітарної експертизи.

Об'єктом дослідження були теоретичні та практичні наукові дані щодо застосовуваних методів виявлення залишків пестицидів у зразках загиблих бджіл та продуктах бджільництва.

У роботі використані наступні наукові методи досліджень: теоретичний пошук, аналіз і синтез, узагальнення та порівняльний аналіз даних щодо методів виявлення залишків пестицидів у продуктах бджільництва та зразках загиблих бджіл, викладених у лабораторних звітах та науковій літературі.

Для пошуку теоретичних даних використані наукометричні бази та платформи (Web of Science, Scopus та ін.). Загалом проведено систематичний огляд більше 200 наукових першоджерел за напрямом досліджень за останні 10–30 років. Аналіз та оцінку наукових досліджень проводили згідно з правилами для систематичних оглядів літератури [12]. Опрацьовані такі типи публікацій як збірники наукових праць, монографії, статті у провідних наукових фахових журналах, враховуючи достовірний, оригінальний і науково обґрунтований зміст результатів дослідження та індексацію в науко-

метричних базах, а також вимоги Державних стандартів України та стандартів Європейського Союзу (ЕС) щодо методів виявлення залишків кількостей пестицидів.

Результати дослідження та обговорення.

Дослідження наявності залишків пестицидів у харчових продуктах, в межах контролю їх безпечності, заслуговує на особливу увагу, оскільки є складним аналітичним завданням лабораторної практики [13–16].

В Україні для виявлення пестицидів у продуктах бджільництва та за діагностики отруєнь бджіл застосовують такі методи як тонкошарова хроматографія (ТШХ), газова хроматографія (ГХ), рідинна хроматографія (РХ), газова та рідинна тандемна хромато-мас-спектрометрія (ГХ-, РХ-МС/МС).

Хроматографію використовують як для якісного, так і кількісного аналізу сумішей речовин. Це фізико-хімічний метод розділення та аналізу речовин, який ґрунтується на розподіленні компонентів аналітичної суміші між двома фазами, що не змішуються, одна з яких є рухомою, а інша – нерухомою (стаціонарною). Рухома фаза – газ (пара), рідина або флюїд (газ у надкритичному стані), які фільтруються через шар сорбенту. Нерухома фаза може бути тверда (сорбент), або рідка (адсорбована на твердий носій чи гель), нанесена як шар чи плівка, або ж упакована в колонку. Тому розрізняють хроматографічні системи планарні: паперова або тонкошарова хроматографія (ПХ і ТШХ) та колонкові: ГХ, РХ.

Розділення аналітичних речовин базується на адсорбції, розподілі, іонному обміні та їх комбінації, або на відмінностях у фізико-хімічних властивостях молекул. Обов'язковою умовою хроматографічного розділення є відмінність у рівноважному або кінетичному розподіленні компонентів суміші між фазами. Хроматографічне розділення речовин як у планарних системах, так і в колонкових, обумовлено перенесенням компонентів аналізованої проби рухомою фазою через шар нерухої фази з різними швидкостями відповідно до коефіцієнтів розподілу речовин. Останній визначають різним ступенем розчинності компонентів суміші у обох фазах, що забезпечує встановлення рівноваги кількісного розподілення речовин між фазами. Чим більша спорідненість аналіту до нерухої фази і чим менша – до рухої, тим повільніше він рухається по колонці і тим довше в ній утримується [17–21].

Враховуючи викладене вище, хроматографічний розподіл можливий лише тоді, коли досліджувана речовина розчинна в рухомій фазі та взаємодіє з нерухомою. Інакше в першому

випадку – вона не братиме участі у хроматографічному процесі, а в другому – не розділиться на компоненти.

Методи паперової та тонкошарової хроматографії прості за технікою виконання, не потребують дороговартісного обладнання, що є їх беззаперечною перевагою. ПХ та ТШХ подібні між собою за технікою виконання. Як нерухоми фазу в паперовій хроматографії застосовують целюлозне волокно паперу, а в ТШХ – різні сорбенти, нанесені рівномірним тонким шаром на скляну або металічну пластину. Як рухоми фазу застосовують різноманітні органічні розчинники і їх суміші. ПХ та ТШХ найчастіше здійснюють у так званому висхідному варіанті під дією капілярних сил. За механізмом поділу вони належать до розподільної хроматографії. У разі використання для ТШХ таких сорбентів як оксид алюмінію або силікагель у поділі мають значення як розподіл, так і адсорбція. Адсорбційна хроматографія полягає у динамічній рівновазі процесів сорбції і десорбції речовин, що аналізують. Від неї залежить швидкість переміщення речовини по хроматографічній системі. Найбільш вживаною планарною хроматографічною системою є ТШХ [22, 23]. Проте слід зауважити, що ці методи потребують значних затрат реактивів, часу, економічних та людських ресурсів. Також їх вибірково селективність для одного конкретного аналіту, або ж для групи представників лише одного хімічного класу звужує можливості одночасного аналізу великої кількості пестицидів.

У газовій хроматографії рухоми фазою є газ, а нерухома фаза може бути твердою або рідкою, тобто рідиною нанесеною на твердий носій. Зважаючи на це, розрізняють газоадсорбційну та газорідинну хроматографію. Механізми розділення, відповідно – адсорбційний і розподільний. Під час аналізу через хроматографічну систему пропускають газ-носіє. Досліджувану пробу вводять в потік газу-носія у пароподібному стані, яка проходить крізь колонку, розділяючись на компоненти, що елюються рухоми фазою і реєструються детектором. Отримана хроматограма є основою для якісного і кількісного визначення пестицидів. За часом утримання (час від моменту внесення проби до появи максимуму піку) можна ідентифікувати компоненти суміші, а за площею, або висотою – оцінити концентрацію цих компонентів у пробі. Числове значення значною мірою залежить від умов аналізу, за яких його одержано.

Метод ГХ застосовують для аналізу легких термостабільних органічних речовин або речовин, які можуть бути переведені в леткі за

допомогою спеціальних прийомів. ГХ дозволяє визначати в досліджуваних пробах окремі пестициди або їх групи за допомогою газового хроматографа з електронно-захоплювальним, полум'яно-іонізаційним, полум'яно-фотометричним, термоіонним (азотно-фосфорним) чи мас-спектрометричним детекторами. Вибір детектора залежить від групи пестицидів, які потрібно визначити, та від рівня концентрації, який необхідно виявити. Зокрема, хлорорганічні пестициди зазвичай аналізують із застосуванням електронно-захоплювального детектора, який є специфічним для цього виду сполук [18–21].

Необхідно зазначити, що такі стандартні методи як ТШХ та ГХ є дещо застарілими та не відповідають сучасним вимогам європейського законодавства щодо методів контролю продуктів бджільництва.

Також одним із напрямів, який використовують для визначення пестицидів є рідинна хроматографія [23].

Високоєфективна рідинна хроматографія (ВЕРХ) набула широкого застосування у сфері контролю забруднень екосистем, харчових продуктів, зокрема в аналітичній хімії для визначення залишкових кількостей пестицидів. ВЕРХ вирізняється швидкістю проходження елюенту через сорбент завдяки тиску на вході в колонку, а також використанням сорбентів розмір зерна яких становить 3–10 мкм, що забезпечує адекватний рух за високої ефективності поділу [24, 25].

За використання однакових сорбентів та рухомих фаз величини утримання (R_f) у ТШХ легко перераховують у відповідні величини у ВЕРХ. Тому метод ТШХ іноді використовують для вибору рухоми фаз, яка буде застосована у ВЕРХ. Порівняно з ТШХ ВЕРХ має вищу ефективність розділення та надає більш точні кількісні результати [23].

Як сорбент у ВЕРХ застосовують силікагель, зрідка оксид алюмінію. Найбільш розповсюджені колонки, які використовують, заповнені силікагелем з прищепленими октадецилсилільними (С18) або октилсилільними (С8) групами. Прямофазні колонки на основі чистого силікагелю використовують рідко. Це пов'язано з тим що аналіти, які досліджують цим методом, досить полярні органічні речовини і є більш рухомими на прищеплених (алкілованих) сорбентах. Іншою важливою причиною є те, що використання прямофазних сорбентів (силікагелю) потребує застосування рухомих фаз, до складу яких належать органічні розчинники (етилцетат, ацетон, хлороформ тощо), які інтен-

сивно поглинають ультрафіолет, що ускладнює застосування спектрофотометричних детекторів [18, 24, 26, 27].

Вибір рухомої фази для ВЕРХ досить обмежений. Здебільшого це суміш деіонізованої води з ацетонітрилом чи метанолом, яка може бути з модифікуючими добавками реагентів, наприклад солей оцтової чи мурашиної кислот. Водневий показник рухомої фази має бути в межах 2,0–8,0, оскільки прищеплені сорбенти на основі силікагелю чутливі до реакції середовища. Зрушення рН в лужний бік здатне спричинити гідроліз прищеплених алкільних груп, а також підвищує розчинність прямофазних сорбентів у рухомій фазі. Прямофазні сорбенти здатні витримати більш кисле середовище. Слід пам'ятати, що введення до складу рухомої фази хлорид-іонів призводять до корозії нержавіючої сталі колонок [24, 26–28].

Властивість більшості неорганічних пестицидів дисоціювати у водних розчинах з утворенням простих гідратованих катіонів, простих і складних аніонів та комплексних іонів знайшло застосування у іонообмінних методах розділення речовин. До них належать класична іонообмінна хроматографія та високоефективна іонна хроматографія. Іонообмінна хроматографія належить до рідинно-твердофазної хроматографії. Для розділення сполук використовують сорбенти, що містять іони (іонообмінники або іоніти), здатні обмінюватись на іони з розчину. Розділення суміші іонів, що містяться в розчині, ґрунтується на різній придатності їх до обміну з іонами іоніту, що призводить до різних швидкостей їх переміщення вздовж колонки. Іонна хроматографія належить до високоефективної іонообмінної хроматографії, для якої характерне застосування мікроколонки, заповненої щільно упакованим сорбентом з малим діаметром зерен, що надає змогу проводити високоефективні розділення іонів [18, 19, 29, 30].

Методи ВЕРХ і ГХ доповнюють можливість один одного. Методом ГХ можна розділяти і аналізувати термічно стійкі та леткі пестициди, тобто речовини з температурами кипіння до 400 °С, молекулярною масою до 400 а.о. Здебільшого це неполярні органічні сполуки. Нелеткі та полярні пестициди аналізують методом ВЕРХ. Деякі речовини з помірною леткістю та полярністю можна аналізувати як методом ГХ так і ВЕРХ. Наприклад пестициди групи триазинів чи хлорацетанлідів [20, 21, 24, 25].

На сьогодні рідинна хроматографія займає одне з пріоритетних місць серед інструментальних хроматографічних методів. Перевага

цього методу – можливість розділення речовин за нижчих температур. Це дає змогу розділяти термічно нестійкі сполуки, які не випаровуються без руйнування. Прикладами таких груп пестицидів є карбамати, неонекотиноїди, стробілурини, бензimidазоли та інші полярні і нелеткі сполуки. Отже, під час вибору газового чи рідинного типу розділення сумішей аналітів необхідно враховувати також фізичні та хімічні властивості досліджуваних пестицидів.

Наступним варто розглянути метод мас-спектрометрії. Він слугує для визначення хімічного складу та молекулярної структури речовин і базується на реєстрації спектра мас іонів, утворених внаслідок іонізації молекул проби. Поєднання газового або рідинного хроматографа з мас-спектрометричним детектором (ГХ-МС, РХ/МС) дозволяє досягти наступних цілей: високої специфічності аналізу, визначення більш широкого діапазону пестицидів порівняно із використанням інших селективних детекторів, можливості додаткової ідентифікації аналітів за їх мас-спектрами, ідентифікації невідомих сполук у складних сумішах та порівняння бібліотечних даних мас-спектрів з виявленими [34–37]. Однак чутливість цього методу недостатня для виконання поставлених завдань.

З огляду на те, що концентрація пестицидів у продуктах бджільництва зазвичай невисока та одночасно можуть бути наявні декілька пестицидів, необхідно застосовувати ефективні високочутливі мультикомпонентні методи випробувань [24, 35]. Зокрема потрібно практикувати використання рідинної хроматографії або газової хроматографії в поєднанні з тандемною мас-спектрометрією. Мас-спектрометри з двома мас-аналізаторами називають тандемними (МС/МС) та використовують найчастіше квадруполь-квадрупольні та квадруполь-часопротітні.

Під час проведення випробувань лабораторії намагаються забезпечити більш низькі межі виявлення досліджуваних аналітів відповідно до вимог нормативних документів. Головним завданням роботи лабораторій є підтримка високої продуктивності та ефективності. Одним із рішень цих завдань є застосування інноваційної триквадрупольної системи МС/МС.

Метод газової трьохквадрупольної тандемної хромато-мас-спектрометрії з джерелом іонізації електронним ударом дозволяє збільшити швидкість іонізації молекул проби, відтворити більше іонів, отримати менший час реєстрації мас іонів, підвищити чутливість детектора, знизити межі виявлення та встановлювати залишкові кількості аналітів з більш високою достовірністю. Крім того, надає мож-

ливість застосовувати менші наважки проб і відповідно скоротити час пробопідготовки. Завдяки перерахованим вище перевагам зростає швидкість аналізу, подовжується термін експлуатації головних деталей приладу, а також скорочується час та затрати на техобслуговування приладу [35, 41].

Новітні технології потрійних квадруполів вдало поєднуються і з ультраефективними рідинними хроматографами (УЕРХ), забезпечуючи точність випробувань, необхідну для аналізу найскладніших проб. Висока чутливість та продуктивність дозволяють швидко, легко й ефективно виконати контроль за дотриманням найсуворіших нормативних вимог щодо безпечності меду та продуктів бджільництва [35, 42].

В таблиці 1 наведено дані щодо селективності (вибірковості) методів визначення пестицидів в продуктах бджільництва (меді бджолиному, обніжжі), які найчастіше застосовують в Україні, відповідно до груп показників, виявлених в цих матрицях. Суттєве значення має межа кількісного визначення методу (чутливість), тобто можливість виявляти аналіти на тому чи іншому рівні концентрацій.

Метод квадрупольно-часопролітної тандемної мас-спектрометрії, зокрема високої роздільної здатності, в поєднанні з системою ГХ (GC/Q-TOF), є точним для ідентифікації мас іонів, дозволяє кількісно визначати залишкові кількості органічних сполук в складних матрицях і контролювати безпечність харчових

продуктів та навколишнього середовища. Забезпечує високу чутливість та відтворюваність результатів. Завдяки цьому досягаються межі виявлення та кількісне визначення з точністю до фемтограмів, селективний кількісний аналіз цільових речовин в пробах з високим хімічним фоном, відповідність методики суворим нормам щодо аналітичних меж.

Часопролітний мас-детектор в поєднанні з РХ системою покращує ідентифікацію невідомих речовин. Квадрупольно-часопролітний тандемний мас-детектор в поєднанні з РХ системою забезпечує більш точне визначення мас іонів та демонструє суттєво вищу швидкість отримання результатів. Цей детектор незамінний за вивчення складу макромолекул, насамперед білків, олігонуклеотидів та інших полімерів природного чи штучного походження [38–40].

Для визначення залишків пестицидів у продуктах бджільництва застосовують також ГХ та РХ системи в поєднанні з МС Orbitrap високої роздільної здатності (GC-HRMS (Q-Orbitrap)). Завдяки технології Orbitrap значно зменшується вплив на результат коекстрактивних речовин з матриці, відповідно і перешкод від подібних за характеристиками елюйованих аналітів. Орбітрепи мають високу точність маси, високу чутливість і гарний динамічний діапазон. Це найбільш чутливий скринінговий метод для мультизалишкового визначення пестицидів [43, 45].

Таблиця 1 – Порівняння методів визначення залишкових кількостей пестицидів

Методи	Група показників						
	Синтетичні піретроїди	Хлорацетаніліди	Фосфор-органічні сполуки	Неонікотинноїди	Триазоли	Бензімідазоли	Стробілурини
	Селективність (так+/ні-)/ Рівень чутливості методу (мкг/кг)						
ТШХ	+10	+/50	+/200	+/50	+/50	+/100	+/50
ГХ/ДЕЗ	+/10	+/10	-	-	-	-	-
ГХ/ПД	-	-	+/10	-	-	-	-
РХ/УФД	-	-	-	+/10	+/10	-	-
ГХ/МС	+/50	+/50	+/50	-	+/10	-	-
ГХ-МС/МС	+/1	+/1	+/1	-	-	-	-
РХ-МС/МС	-	-	+/0,1	+/0,1	+/0,1	+/0,1	+/0,1

Висновки. Хроматографічні методи є ефективними для аналізу продуктів бджільництва на наявність залишків пестицидів та за проведення діагностики отруєнь бджіл. Їх ефективність обумовлена динамічністю процесів сорбції-десорбції компонентів, що розділяються в потоці рухомої фази. Різновиди хроматографічних методів досліджень створені завдяки модифікаціям рухомої або нерухомої фази та умов випробувань, які визначають швидкість переміщення компонентів аналітичної суміші. Загалом, хроматографія є простим і надзвичайно гнучким принципом, який продовжить удосконалюватися найближчим часом та згенерує нові варіації.

Прерогатива ВЕРХ порівняно із ГХ полягає в універсальності – можливості дослідження аналітів без значних обмежень щодо температури кипіння або молекулярної маси. До того ж, з кожним роком збільшується кількість високополярних і малолетких пестицидів, які є об'єктами досліджень методом ВЕРХ.

Основними недоліками класичних хроматографічних методів випробувань є необхідність трудомісткої пробопідготовки та значна тривалість аналізу. Крім того, вони не відповідають сучасним вимогам законодавства щодо методів контролю продуктів бджільництва за вмістом пестицидів.

Значними перевагами вирізняються методи трьохквадрупольної тандемної хромато-мас-спектрометрії ГХ-МС/МС та/або РХ-МС/МС, зокрема це можливість визначати одночасно значний перелік пестицидів, виявляти залишкові кількості речовин на низьких рівнях концентрацій в матриці, а також збільшена швидкість аналізу й водночас отримання достовірних результатів випробувань.

Поєднання хроматографів з тандемними мас-спектрометрами є досить перспективними методами у лабораторній практиці України. Саме газова або рідинна хроматографія з тандемним трьохквадрупольним мас-спектрометричним детектуванням є високочутливими мультикомпонентними методами випробувань завдяки точності, вибірковості та можливості легко ідентифікувати аналіти за їхніми індивідуальними мас-спектрами.

Водночас недоліком сучасної хромато-мас-спектрометрії є висока вартість обладнання, враховуючи його поточне сервісне обслуговування, проте результатом є отримання швидкої та достовірної інформації щодо безпечності досліджуваних продуктів бджільництва, включаючи також можливість визначати до 600 сполук одночасно в зразках загиблих бджіл за діагностики отруєнь пестицидами.

Методи квадрупольно-часопротітної ГХ-МС/МС та/або РХ-МС/МС також характеризуються високою чутливістю та відтворюваністю, можливістю точного й швидкого отримання результатів досліджень та ідентифікації невідомих речовин.

Технології Orbitrap високої роздільної здатності дозволяють визначати ультразалишкові кількості аналітів та зменшити ймовірність хибнопозитивних і негативних результатів.

Отже, сучасні методи визначення залишків пестицидів у зразках продуктів бджільництва відповідають суворим нормативно-правовим вимогам щодо граничних меж виявлення цих аналітів та вимогам лабораторної практики щодо достовірності результатів і швидкості проведення випробувань, а в зразках загиблих бджіл дозволяють визначати одночасно широкий спектр діючих речовин засобів захисту рослин. Найбільш оптимальний метод дослідження обирають залежно від поставлених завдань аналізу, умов його проведення та очікуваного результату.

Відомості про конфлікт інтересів. Автори статті (Омельчун Ю.А. та Кобиш А.І.) стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їх вкладу та результатів дослідження. Матеріали статті можуть бути опубліковані.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Rekha Naik S.N., Prasad R. Pesticide residue in organic and conventional food-risk analysis. *Chem. Health Saf.* 2006. Vol. 13. P. 12–19. DOI:10.1016/j.chs.2005.01.012.
2. Ye M., Beach J., Martin J.W., Senthilselvan A. Occupational pesticide exposures and respiratory health. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2013. Vol. 10 (12). P. 6442–6471. DOI:10.3390/ijerph10126442.
3. Pesticides: classification, uses and toxicity. Measures of exposure and genotoxic risks/F.P. Garcia et al. *Res. J. Environ. Sci. Toxicol.* 2012. Vol. 1 (11). P. 279–293. URL: www.semanticscholar.org/paper/Pesticides%3A-classification%2C-uses-and-toxicity-of-Garc%C3%ADa-Ascencio/225e6c4ebada0757fc67ef46d06a2347dec00335?p2df. (дата звернення: 22.06.2022).
4. Ravindran J., Pankajsham M., Puthur S. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdiscip. Toxicol.* 2016. Vol.9. P. 90–100. URL: www.sciendo.com/article/10.1515/intox-2016-0012. (дата звернення: 22.06.2022).
5. Sarbani G., Anirudha G., Gouri D.S., Surya B.P. Mutagenic effects of carbosulfan, a carbamate pesticide. *Mutat. Res., Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* 2002. Vol. 519. P. 75–82. URL: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383571802001146?via%3Dihub. (дата звернення: 21.06.2022).

6. Pesticide distribution and depletion kinetic determination in honey and beeswax. Model for pesticide occurrence and distribution in beehive products/J.A. Shimshoni et al. PLoS ONE. 2019. 14 (2). DOI:10.1371/journal.pone.021263.
7. Johnson R.M., Ellis M.D., Mullin C.A., Frazier M. Pesticides and honey bee toxicity – USA. *Apidologie*. 2010. P. 312–331. DOI:10.1051/apido/201001841.
8. A two-year monitoring of pesticide hazard in hive: High honey bee mortality rates during insecticide poisoning episodes in apiaries located near agricultural settings/P. Calatayud-Vernich et al. *J. Chemosphere*. 2019. Vol. 232. P. 471–480. DOI:10.1016/j.chemosphere.2019.05.170.
9. Regulation (EC) № 396/2005 of the European Parliament and of the Council on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin and amending Council Directive 91/414/EEC. OJ L 70, 16.03.2005. P. 1–16. URL: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex-3A32005R0396. (дата звернення: 20.06.2022).
10. Commission Directive 2006/125/EC on processed cereal-based foods and baby foods for infants and young children. OJ L 339, 6.12.2006. P. 16–35. URL: data.europa.eu/eli/dir/2006/125/oj. (дата звернення: 20.06.2022).
11. Pesticide residues in food. WHO. 2018. URL: www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food. (дата звернення: 10.06.2022).
12. Systematic Review of the Literature: Best Practices, Academic Radiology/S. Gupta et al. 2018. Vol. 25 (11). P. 1481–1490. DOI:10.1016/j.acra.2018.04.025.
13. Commission Directive 2002/63/EC of 11 July 2002 Establishing Community methods of sampling for the official control of pesticide residues in and on products of plant and animal origin and repealing Directive 79/700/EEC. (Text with EEA relevance). OJ L 187, 16.7.2002. P. 30–43. URL: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32002L0063. (дата звернення: 20.06.2022).
14. The International Code of Conduct on Pesticide Management. WHO/FAO. Rome, 2014. 40 p. URL: www.who.int/publications/i/item/9789251085493. (дата звернення: 10.06.2022).
15. Guidance SANTE 11312/2021 – Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed. URL: ec.europa.eu/food/system/files/2022-02/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2021-113_12.pdf. (дата звернення: 19.06.2022).
16. Jackie. Basics & Fundamentals: Gas Chromatography. Shimadzu 21. 2020. URL: www.shimadzu.eu.com/sites/shimadzu.seg/files/SEG/c10ge082-GC-Basics-and-Fundamentals.pdf. (дата звернення: 21.06.2022).
17. Basic Overview Gas on Chromatography Columns Chemistry/Md. Musfiqur Rahman et al. Wiley Online Library. 2015. Chapter 3. Vol. 3. P. 823–834. DOI:10.1002/9783527678129.assep024.
18. Cazes J., Scott R.P.W. *Chromatography Theory*. New York/ Basel: Marsel Dekker, 2002. Inc. 477 p. (in English). DOI:10.1201/9780367800543.
19. Coskun O. Separation techniques: Chromatograph. *Noth Clin Istanbul*. 2016. Vol. 3(2). P. 156–160. DOI:10.14744/nci.2016.32757.
20. Basic principles of gas chromatography. *J. of Chromatography Libr.* 1977. Vol. 10. P. 1–31. DOI:10.1016/S0301-4770(08)60223-7.
21. McNair H.M., Miller J.M., Snow N.H. *Basic gas chromatography*, Third Edition. Wiley, 2019. 265 p. (in English). DOI:10.1002/9781119450795.
22. Colin F. Poole. *Thin-layer chromatography: challenges and opportunities*. *J. of Chromatography Libr.* 2003. Vol. 1000 (1-2). P. 963–984. DOI:10.1016/S0021-9673(03)00435-7.
23. Lewis S.W., Lenehan C.E. *Liquid and Thin-Layer Chromatography*. *Encyclopedia of Forensic Sciences*. 2013. P. 586–589. DOI:10.1016/B978-0-12-382165-2.00246-4.
24. Souza Tette P.A., Guidi L.R., De Abreu Glória M.B., Fernandes C. Pesticides in honey: A review on chromatographic analytical methods. *Talanta*. 2016. Vol. 149. P. 124–141. DOI:10.1016/j.talanta.2015.11.045.
25. Thin-layer chromatography in the authenticity testing of bee-products/M. Dushanka et al. *J. of Chromatography B*. 2022. Vol. 1188. DOI:10.1016/j.jchromb.2021.123068.
26. Chromatographic retention of adamantylamidrazones and triazoles by octadecyl silica gel and hypercrosslinked polystyrenes from water-acetonitrile solutions/S.V. Prokopov et al. *Russ. J. Phys. Chem.* 2012. Vol. 86. P. 852–859. DOI:10.1134/S0036024412050299.
27. Thomas H. Walter., Iraneta P., Capparella M. Mechanism of retention loss when C8 and C18 HPLC columns are used with highly aqueous mobile phases, *J. of Chromatography A*. 2005. Vol. 1075 (1–2). P. 177–183. DOI:10.1016/j.chroma.2005.04.039.
28. Influence of variation in mobile phase pH and solute pK_a with the change of organic modifier fraction on QSRRs of hydrophobicity and RP-HPLC retention of weakly acidic compounds/Shu-ying Han et al. *Talanta*. 2012. Vol. 101. P. 64–70. DOI:10.1016/j.talanta.2012.08.051.
29. Hamish Small. Landmarks in the Evolution of Ion Chromatography LCGC Supplements. *Special Issues-04-01-2013*. (2013). Vol. 31 (4). P. 8–15. URL: www.chromatographyonline.com/view/landmarks-evolution-ion-chromatography. (дата звернення: 23.06.2022).
30. Haddad P.R., Jackson P.E. *Ion chromatography – principles and applications*. *Journal of Chromatography Library*. 1990. Vol. 46. P. 319–320. (in English). DOI:10.1016/0021-9673(93)80015-Z.
31. Castillo M. An evaluation method for determination of non-polar pesticide residues in animal fat samples by using dispersive solid-phase extraction clean-up and GC-MS. *Anal. Bioanal. Chem.* 2011. Vol. 400 (5). P. 1315–1328. DOI:10.1007/s00216-011-4656-5.
32. McGown S.R. *Basic gas chromatography-mass spectrometry: Principles and techniques*. *J. of Biochem. and Biophys. Methods*. 1990. Vol. 20. P. 269–270. DOI:10.1016/0165-022x(90)90085-q.

33. Rose M.E. Basic Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Analytica Chimica Acta*. 1989. Vol. 225. P. 456–457. DOI:10.1016/s0003-2670(00)84638-3.

34. Sneddon J., Masuram S., Richert J.C. Gas chromatography-mass spectrometry-basic principles, instrumentation and selected applications for detection of organic compounds. *Analytical Letters*. 2007. DOI:10.1080/00032710701300648.

35. Multi-residue analytical method for detecting pesticides, veterinary drugs, and mycotoxins in feed using liquid- and gas chromatography coupled with mass spectrometry/Tae Woong Na et al. *J. of Chromatography A*. 2022. DOI:10.1016/j.chroma.2022.463257.

36. John Roboz. A History of Ion Current Detectors for Mass Spectrometry. *The Encyclopedia of Mass Spectrometry*. 2016. Vol. 9. P. 183–188. DOI:10.1016/B978-0-08-043848-1.00023-7.

37. Peter Q. Tranchida, Luigi Mondello. Detectors and basic data analysis. *Separation Science and Technology*. 2020. Vol. 12 (6). P. 205–227. DOI:10.1016/B978-0-12-813745-1.00006-4.

38. Non-target evaluation of contaminants in honey bees and pollen samples by gas chromatography time-of-flight mass spectrometry/E. Hakme et al. *Chemosphere*. 2017. Vol. 184. P. 1310–1319. DOI:10.1016/j.chemosphere.2017.06.089.

39. Richard A. Yost. The triple quadrupole: Innovation, serendipity and persistence. *Journal of Mass Spectrometry and Advances in the Clinical Lab*. 2022. Vol. 24. P. 90–99. DOI:10.1016/j.jmsacl.2022.05.001.

40. Multi-residue analysis of 80 environmental contaminants in honeys, honeybees and pollens by one extraction procedure followed by liquid and gas chromatography coupled with mass spectrometric detection/L. Wiest et al. *Journal of Chromatography A*. 2011. Vol. 1218 (34). P. 5743–5756. DOI:10.1016/j.chroma.2011.06.079.

41. Dataset of PAHs determined in home-made honey samples collected in Central Italy by means of DLLME-GC-MS and cluster analysis for studying the source apportionment/S. Passarella et al. *Data in Brief*. 2022. Vol. 42. DOI:10.1016/j.dib.2022.108136.

42. Determination of imidacloprid in beehive samples by UHPLC-MS/MS/Melina P. Michlig et al. *Microchemical Journal*. 2018. Vol. 143. P. 72–81. DOI:10.1016/j.microc.2018.07.027.

43. Liquid chromatography Orbitrap mass spectrometry with simultaneous full scan and tandem MS/MS for highly selective pesticide residue analysis/María Del Mar et al. *Anal. Bioanal. Chem.* 2015. Vol. 407(21). P. 6317–6326. DOI:10.1007/s00216-015-8709-z.

44. Multi-Class Methodology to Determine Pesticides and Mycotoxins in Green Tea and Royal Jelly Supplements by Liquid Chromatography Coupled to Orbitrap High Resolution Mass Spectrometry/Martínez-Domínguez et al. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 197. P. 907–915. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.11.070.

45. Comparison of new approach of GC-HRMS (Q-Orbitrap) to GC-MS/MS (triple-quadrupole) in analyzing the pesticide residues and contaminants

in complex food matrices/S. Belarbi et al. *Food Chemistry*. 2021. Vol. 359. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.129932.

REFERENCES

1. Rekha Naik, S.N., Prasad, R. (2006). Pesticide residue in organic and conventional food-risk analysis. *Chem. Health Saf.* Vol. 13, pp. 12–19. DOI:10.1016/j.chs.2005.01.012.

2. Ye, M., Beach, J., Martin, J.W., Senthilselvan, A. (2013). Occupational pesticide exposures and respiratory health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. Vol. 10 (12), pp. 6442–6471. DOI:10.3390/ijerph10126442.

3. Garcia, F.P., Cortés Ascencio, S.Y., Gaytan Oyarzun, J.C., Ceruelo Hernandez, A., Vazquez Alavaredo, P. (2012). Pesticides: classification, uses and toxicity. Measures of exposure and genotoxic risks. *Res. J. Environ. Sci. Toxicol.* Vol. 1 (11), pp. 279–293. (Accessed 22 June 2022). Available at: www.semanticscholar.org/paper/Pesticides%3A-classification%2C-uses-and-toxicity.-of-Garc%C3%ADa-Ascencio/225e6c4ebada0757fc67ef46d06a2347dec00335?p2df.

4. Ravindran, J., Pankajshan, M., Puthur, S. (2016). Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdiscip. Toxicol.* Vol. 9, pp. 90–100. (Accessed 22 June 2022). Available at: www.sciendo.com/article/10.1515/intox-2016-0012.

5. Sarbani, G., Anirudha, G., Gouri, D.S., Surya, B.P. (2002). Mutagenic effects of carbosulfan, a carbamate pesticide. *Mutat. Res., Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* Vol. 519, pp. 75–82. (Accessed 21 June 2022). Available at: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383571802001146?via%3Dihub.

6. Shimshoni, J.A. (2019). Pesticide distribution and depletion kinetic determination in honey and beeswax. Model for pesticide occurrence and distribution in beehive products. *PLoS ONE* 14 (2). DOI:10.1371/journal.pone.021263.

7. Johnson, R.M., Ellis, M.D., Mullin, C.A., Frazier, M. (2010). Pesticides and honey bee toxicity – USA. *Apidologie*. pp. 312–331. DOI:10.1051/apido/201001841.

8. Calatayud-Vernich, P., Calatayud, F., Simó, E. (2019). A two-year monitoring of pesticide hazard in-hive: High honey bee mortality rates during insecticide poisoning episodes in apiaries located near agricultural settings. *J. Chemosphere*. Vol. 232, pp. 471–480. DOI:10.1016/j.chemosphere.2019.05.170.

9. Regulation (EC) № 396/2005 of the European Parliament and of the Council on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin and amending Council Directive 91/414/EEC. *OJ L* 70, 16.03.2005, pp. 1–16. (Accessed 20 June 2022). Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32005R0396.

10. Commission Directive 2006/125/EC on processed cereal-based foods and baby foods for infants and young children. *OJ L* 339, 6.12.2006, pp. 16–35. (Accessed 20 June 2022). Available at: data.europa.eu/eli/dir/2006/125/oj.

11. Pesticide residues in food. WHO. 2018. (Accessed 10 June 2022). Available at: www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food.
12. Gupta S., Rajiah P., Middlebrooks E.H., Baruah D., Carter B.W., Burton K.R., Chatterjee A.R., Miller M.M. (2018). Systematic Review of the Literature: Best Practices, Academic Radiology. Vol. 25 (11), pp. 1481–1490. DOI:10.1016/j.acra.2018.04.025.
13. Commission Directive 2002/63/EC of 11 July 2002 Establishing Community methods of sampling for the official control of pesticide residues in and on products of plant and animal origin and repealing Directive 79/700/EEC (Text with EEA relevance). OJ L 187, 16.7.2002, pp. 30–43. (Accessed 20 June 2022). Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32002L0063.
14. The International Code of Conduct on Pesticide Management.(2014). WHO/FAO. Rome, 40 p. (Accessed 10 June 2022). Available at:www.who.int/publications/i/item/9789251085493.
15. Guidance SANTE 11312/2021 – Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed. (Accessed 19 June 2022). Available at:ec.europa.eu/food/system/files/2022-02/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2021-11312.pdf.
16. Jackie. (2020). Basics & Fundamentals: Gas Chromatography. Shimadzu 21. (Accessed 21 June 2022). Available at:www.shimadzu.eu.com/sites/shimadzu_seg/files/SEG/c10ge082-GC-Basics-and-Fundamentals.pdf.
17. Md. Musfiqur, Rahman., El-Aty, A.M.A. (2015). Basic Overview Gas on Chromatography Columns Chemistry. Wiley Online Library. Chapter 3. Vol. 3, pp. 823–834. DOI:10.1002/9783527678129.assep024.
18. Cazes, J., Scott, R.P.W. (2002). Chromatography Theory. New York/ Basel: Marsel Dekker, Inc, 477 p. (in English). DOI:10.1201/9780367800543.
19. Coskun, O. (2016). Separation techniques: Chromatograph. Noth Clin Istanb. Vol. 3(2), pp. 156–160. DOI:10.14744/nci.2016.32757.
20. Basic principles of gas chromatography. (1977). J. of Chromatography Libr. Vol. 10, pp. 1–31. DOI:10.1016/S0301-4770(08)60223-7.
21. McNair, H.M., Miller, J.M., Snow, N.H. (2019). Basic gas chromatography, Third Edition. Wiley, 265 p. (in English). DOI:10.1002/9781119450795.
22. Colin, F. Poole (2003). Thin-layer chromatography: challenges and opportunities. J. of Chromatography Libr. Vol. 1000 (1-2), pp. 963–984. DOI:10.1016/S0021-9673(03)00435-7.
23. Lewis, S.W., Lenehan, C.E. (2013). Liquid and Thin-Layer Chromatography. Encyclopedia of Forensic Sciences, pp. 586–589. DOI:10.1016/B978-0-12-382165-2.00246-4.
24. Souza Tette, P.A., Guidi, L.R., De Abreu Glória, M.B., Fernandes, C. (2016). Pesticides in honey: A review on chromatographic analytical methods. Talanta. Vol. 149, pp.124–141. DOI:10.1016/j.talanta.2015.11.045.
25. Dushanka, M. (2022). Thin-layer chromatography in the authenticity testing of bee-products. J. of Chromatography B. Vol. 1188. DOI:10.1016/j.jchromb.2021.123068.
26. Prokopov, S.V., Kurbatova, S.V., Davankov, V.A. (2012). Chromatographic retention of adamantylamidrazones and triazoles by octadecyl silica gel and hypercrosslinked polystyrenes from water-acetonitrile solutions. Russ. J. Phys. Chem. Vol. 86, pp. 852–859. DOI:10.1134/S0036024412050299.
27. Thomas, H. Walter., Iraneta P., Capparella M. (2005). Mechanism of retention loss when C8 and C18 HPLC columns are used with highly aqueous mobile phases. J. of Chromatography A. Vol. 1075 (1–2), pp. 177–183. DOI:10.1016/j.chroma.2005.04.039.
28. Shu-ying, Han., Liang, C., Zou, K. (2012). Influence of variation in mobile phase pH and solute pK_a with the change of organic modifier fraction on QSRRs of hydrophobicity and RP-HPLC retention of weakly acidic compounds. Talanta. Vol. 101, pp. 64–70. DOI:10.1016/j.talanta.2012.08.051.
29. Hamish, Small. (2013). Landmarks in the Evolution of Ion Chromatography LCGC Supplements. Special Issues-04-01-2013. Vol. 31 (4), pp. 8–15. (Accessed 23 June 2022). Available at: www.chromatographyonline.com/view/landmarks-evolution-ion-chromatography.
30. Haddad, P.R., Jackson, P.E. (1990). Ion chromatography – principles and applications. Journal of Chromatography Library. Vol. 46, pp. 319–320. (in English). DOI:10.1016/0021-9673(93)80015-Z.
31. Castillo, M. (2011). An evaluation method for determination of non-polar pesticide residues in animal fat samples by using dispersive solid-phase extraction clean-up and GC-MS. Anal. Bioanal. Chem. Vol. 400 (5), pp. 1315–1328. DOI:10.1007/s00216-011-4656-5.
32. McGown, S.R. (1990). Basic gas chromatography-mass spectrometry: Principles and techniques. J. of Biochem. and Biophys. Methods. Vol. 20, pp. 269–270. DOI:10.1016/0165-022x(90)90085-q.
33. Rose, M.E. (1989). Basic Gas Chromatography-Mass Spectrometry. Analytica Chimica Acta. Vol. 225, pp. 456–457. DOI:10.1016/S0003-2670(00)84638-3.
34. Sneddon, J., Masuram, S., Richert, J.C. (2007). Gas chromatography-mass spectrometry-basic principles, instrumentation and selected applications for detection of organic compounds. Analytical Letters. DOI:10.1080/00032710701300648.
35. Tae, Woong Na., Hyung-Ju, Seo., Su-Nyeong, Jang. (2022). Multi-residue analytical method for detecting pesticides, veterinary drugs, and mycotoxins in feed using liquid- and gas chromatography coupled with mass spectrometry. J. of Chromatography A. DOI:10.1016/j.chroma.2022.463257.
36. Roboz, J. (2016). A History of Ion Current Detectors for Mass Spectrometry. The Encyclopedia of Mass Spectrometry. Vol. 9, pp. 183–188. DOI:10.1016/B978-0-08-043848-1.00023-7.
37. Peter, Q.T., Mondello, L. (2020). Detectors and basic data analysis. Separation Science and Technology. Vol. 12 (6), pp. 205–227. Doi:10.1016/B978-0-12-813745-1.00006-4.

38. Hakme, E., Lozano, A., Gómez-Ramos, M.M., Hernando, M.D., Fernández-Alba, A.R. (2017). Non-target evaluation of contaminants in honey bees and pollen samples by gas chromatography time-of-flight mass spectrometry. *Chemosphere*. Vol. 184, pp. 1310–1319. DOI:10.1016/j.chemosphere.2017.06.089.

39. Richard, A. Yost. (2022). The triple quadrupole: Innovation, serendipity and persistence. *Journal of Mass Spectrometry and Advances in the Clinical Lab*. Vol. 24, pp. 90–99. DOI:10.1016/j.jmsacl.2022.05.001.

40. Wiest, L., Buleté, A., Giroud, B. (2011). Multi-residue analysis of 80 environmental contaminants in honeys, honeybees and pollens by one extraction procedure followed by liquid and gas chromatography coupled with mass spectrometric detection. *Journal of Chromatography A*. Vol. 1218 (34), pp. 5743–5756. DOI:10.1016/j.chroma.2011.06.079.

41. Passarella, S., Guerriero, E., Quici, L. (2022). Dataset of PAHs determined in home-made honey samples collected in Central Italy by means of DLLME-GC-MS and cluster analysis for studying the source apportionment. *Data in Brief*. Vol. 42. DOI:10.1016/j.dib.2022.108136.

42. Melina, P. Michlig., Merke, J., Adriana, C. Pacini., Emanuel, M. Orellano., Horacio, R. Beldoménico., María, R. Repetti. (2018). Determination of imidacloprid in beehive samples by UHPLC-MS/MS. *Microchemical Journal*. Vol. 143, pp. 72–81. DOI:10.1016/j.microc.2018.07.027.

43. aría, Del Mar., Gómez-Ramos, Lukasz Rajsk. (2015). Liquid chromatography Orbitrap mass spectrometry with simultaneous full scan and tandem MS/MS for highly selective pesticide residue analysis. *Anal. Bioanal. Chem.* 407(21), pp. 6317–6326. DOI:10.1007/s00216-015-8709-z.

44. Martínez-Domínguez. (2016). Multi-Class Methodology to Determine Pesticides and Mycotoxins in Green Tea and Royal Jelly Supplements by Liquid Chromatography Coupled to Orbitrap High Resolution Mass Spectrometry. *Food Chemistry*. Vol. 197, pp. 907–915. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.11.070.

45. Belarbi, S., Vivier, M., Zaghouni, W. (2021). Comparison of new approach of GC-HRMS (Q-Orbitrap) to GC-MS/MS (triple-quadrupole) in analyzing the pesticide residues and contaminants in complex food matrices. *Food Chemistry*. Vol. 359. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.129932.

Modern methods for the determination of pesticide residues in beekeeping products and for the diagnostics of bee poisoning

Omelchun Y., Kobish A.

Intensification of agricultural production is associated with the use of a significant amount of pesticides, which negatively affects the environment and human health, and food products, including beekeeping products, accordingly require mandatory control of residual amounts of pesticides.

This article provides a comparative analysis of the available chromatographic methods for pesticide residue research. The necessity of using modern chromatographic methods to determine residual amounts of pesticides in samples of dead bees and beekeeping products is well-founded.

Chromatographic methods of studying these indicators in different types of matrices are a priority. They are effective methods of analysis, widely used due to their versatility - they allow the analysis of complex inorganic and organic compounds in various aggregate states. But one of the most common modern methods for pesticide determination is gas and liquid three-quadrupole tandem chromatography-mass spectrometry (GC and/or LC-MS/MS). The GC-MS/MS method provides quantitative determination of analytes at a level that is an order of magnitude higher than, for example, the gas single quadrupole mass spectrometry method.

Modern methods of gas and liquid chromatography in combination with quadrupole time-of-flight mass spectrometric detection (LC/Q-TOF/MS or GC/Q-TOF/MS) also allow qualitative and quantitative multicomponent analysis of pesticides in beekeeping products.

GC and LC systems combined with high-resolution Orbitrap MS (GC-HRMS(Q-Orbitrap)/LC-HRMS (Q-Orbitrap)) have higher sensitivity, enabling ultra-trace detection, and are the most sensitive screening method for multicomponent determination of pesticide residues.

Thus, the latest chromatographic methods are able to meet the needs of analytical testing and research laboratories in the field of food safety, including beekeeping products.

Key words: chromatographic methods, thin-layer chromatography, gas chromatography, liquid chromatography, mass spectrometry, multi-component analysis, pesticides, honey, dead bees.



Copyright: Омельчун Ю.А., Кобиш А.І. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Омельчун Ю.А.

Кобиш А.І.

<https://orcid.org/0000-0001-8895-7250>

<https://orcid.org/0000-0001-9372-5016>