

Назарій Білько,

аспірант кафедри бджільництва,

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна

ORCID ID: 0009-0006-5064-9977

e-mail: bilko.nazar@gmail.com

Ігор Головецький,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0003-0003-9178

e-mail: apismed@ukr.net

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ БДЖОЛИНОГО ВОСКУ APIS MELIFERA

Анотація

У дослідженні розглянуто багатогранну роль бджолиного воску (*Apis mellifera*) як складного природного ліпиду, що є критично важливим для життєдіяльності бджолиних сімей, будівництва стільників, зберігання ресурсів та хімічної комунікації. Зростаюча актуальність вивчення воску обґрунтована необхідністю забезпечення здоров'я бджіл, а також автентичності та безпечності продуктів бджільництва.

Проаналізовано методологію відбору зразків, зокрема переваги використання "диких" стільників для хімічного аналізу, та способи отримання воскових пластинок безпосередньо від бджіл. Детально описано сучасні високотехнологічні методи дослідження воску: газову хроматографію-мас-спектрометрію (GC-MS) для комплексного аналізу складу та виявлення фальсифікації, інфрачервону спектроскопію з перетворенням Фур'є та порушеним повним внутрішнім відбиттям (FTIR-ATR) для швидкої ідентифікації "хімічного відбитка" та домішок, рідинну хроматографію (PX) для виявлення залишків пестицидів і забруднювачів, а також мас-спектрометрію ізотопних відношень (IRMS) для визначення географічного походження. Результати підкреслюють, що бджолиний віск є складною ліпідною сумішшю з понад 300 компонентами, де домінують естери, вуглеводні та вільні кислоти. Розглянуто важливість фізико-хімічних параметрів (температура плавлення, кислотне, число омилення, ефірне число та їх співвідношення) за критеріями ІНС для оцінки якості та виявлення фальсифікації. Виявлено, що, попри їх значущість, ці методи мають обмеження через високі пороги виявлення домішок і не є обов'язковими для контролю якості через законодавчі неузгодженості. Наголошено на потребі в узгодженому законодавстві та обов'язковому контролі якості бджолиного воску для забезпечення сталості бджільництва та захисту споживачів.

Перспективи подальших досліджень мають бути зосереджені на кількох ключових напрямках, серед яких можна виділити наступні: розробка експрес-методів контролю якості; поглиблене вивчення впливу домішок на бджіл; визначення регіональних "відбитків" воску; інтеграція цифрових технологій; екологічний моніторинг.

Ключові слова: віск, якість воску, забруднення воску, аналіз воскової сировини, бджільництво

Вступ. Бджолиний віск – це не просто будівельний матеріал для бджіл, а й складний природний ліпід, що відіграє багатогранну роль у життєдіяльності бджолої сім'ї. Він є основою для будівництва стільників, які слугують місцем для зберігання меду, перги та вирощування розплоду. Крім того, віск бере участь у хімічній комунікації всередині бджолої сім'ї, допомагаючи бджолам розпізнавати одне одного та координувати дії [9]. Розуміння процесів утворення воску, його хімічного складу та фізико-хімічних властивостей є критично важливим для сучасного бджільництва та забезпечення контролю якості продуктів бджільництва.

Актуальність вивчення бджолоїного воску зростає з кожним роком, адже воно є запорукою здоров'я бджіл, а також автентичності та безпечності продуктів бджільництва для споживачів. Проблема полягає у необхідності розробки та вдосконалення методів дослідження різних аспектів бджолоїного воску – від процесу його утворення та складного хімічного складу до виявлення фальсифікації та забруднення. Це життєво важливо для розвитку галузі та захисту споживачів від недоброякісної продукції.

Мета – пошук та вдосконалення методів виявлення забруднень воску та оцінки якості воскової сировини, а також способів очищення воскової сировини, що сприятиме покращенню стану життя бджіл та якості отримуваної від них продукції бджільництва.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вибір методу відбору зразків бджолоїного воску безпосередньо залежить від мети дослідження та запланованого аналізу. Загалом, зразки можна отримати трьома основними способами: безпосередньо від бджіл, з вулика або придбати на ринку. Для проведення хімічного аналізу автентичного воску, що не піддавався зовнішнім впливам, перевагу надають так звані "дикі" стільники. Це новозбудовані бджолами стільники без використання штучної вошини, що мінімізує ризик будь-якого забруднення. Важливо також, щоб бджолині сім'ї, від яких відбираються зразки, не піддавалися попередньому лікуванню ветеринарними препаратами, оскільки це може вплинути на хімічний склад воску.

Для вивчення первинного матеріалу стільників – воскових пластинок – їх збирають з черевця молодих робочих бджіл або з дна лабораторних кліток. У вулику бджіл з розвиненими восковими залозами можна знайти на розплідних рамках. Розмір цих воскових пластинок може бути оцінений візуально або ж більш точно виміряний за допомогою мікроскопа [1].

Бджолиний віск, незважаючи на його важливість у бджільництві та інших галузях, часто реалізується як "безпечний" продукт, навіть якщо він містить сторонні домішки сумнівного походження. Це відбувається через відсутність обов'язкових правових норм, що регулюють його справжність. Проблема полягає не лише в неконтрольованому забрудненні через торгівлю вошиною, коли домішки навмисно додаються у вощину без попередньої перевірки на автентичність. Вона посилюється тим, що ці фальсифікуючі речовини

накопичуються в бджільницькому секторі, оскільки вощина постійно повертається в технологічний процес [2].

Наслідком такого стану речей є потрапляння фальсифікованого воску до косметичної, фармацевтичної та харчової промисловості. Крім того, оскільки бджолиний віск, з якого складаються стільники, безпосередньо контактує з медом під час його виробництва, виникає серйозне занепокоєння щодо безпеки харчових продуктів. Мережа ЄС з боротьби з шахрайством у сфері харчових продуктів вже звернула увагу Європейської Комісії на негативні наслідки та потенційні ризики фальсифікації бджолиного воску для здоров'я тварин та населення.

На сьогоднішній день у світі ідентифіковано понад 15 різних типів природних та промислових восків, що використовуються як домішки до бджолиного воску [7]. Парафінові воски становлять найбільшу проблему через їхню високу доступність та низьку вартість. Їхні фізико-хімічні властивості, такі як хімічна інертність, майже повна відсутність запаху та білий або безбарвний вигляд, роблять парафін майже "ідеальним" фальсифікантом. Інші домішки, такі як стеаринова кислота, стеарин, тваринний жир та мікрокристалічний віск, зустрічаються епізодично.

Ряд нещодавніх досліджень зафіксували високий вміст парафіну (понад 50%, до 93%) та періодичну появу стеаринової кислоти чи стеарину у вощині, зібраній на ринку [8]. Окрім економічних збитків, фальсифікований стеарином віск має негативний вплив на розвиток бджолиного розплоду, що було підтверджено дослідженнями.

Ця тривожна ситуація на ринку вощини свідчить про нагальну потребу в рутинному контролі справжності бджолиного воску. Корінь проблеми полягає в загальному дефіциті натурального бджолиного воску та "хронічному" накопиченні й циркуляції парафіну (та інших домішок) у виробництві вощини. Відсутність належного регулювання та стандартизованих аналітичних методів для перевірки автентичності бджолиного воску значно ускладнює вирішення цієї проблеми [2]. У зв'язку з цим, критично важливим є використання та детальний опис методів виявлення фальсифікації, включаючи класичні фізико-хімічні показники, сенсорний аналіз, а також передові спектроскопічні методи, такі як газова хроматографія-мас-спектрометрія (GC-MS) та інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є та порушенням повним внутрішнім відбиттям (FTIR-ATR).

Сучасні методи дослідження бджолиного воску виходять далеко за рамки класичного фізико-хімічного аналізу. Для глибокого та всебічного аналізу бджолиного воску, а також для боротьби з фальсифікацією, сучасна хімія використовує низку високотехнологічних інструментів. Кожен з них має свої унікальні переваги та застосування [2].

1. Газова хроматографія-мас-спектрометрія (GC-MS)

Газова хроматографія-мас-спектрометрія (GC-MS) – це потужний аналітичний метод, який поєднує можливості газової хроматографії для

розділення складних сумішей та мас-спектрометрії для ідентифікації окремих компонентів.

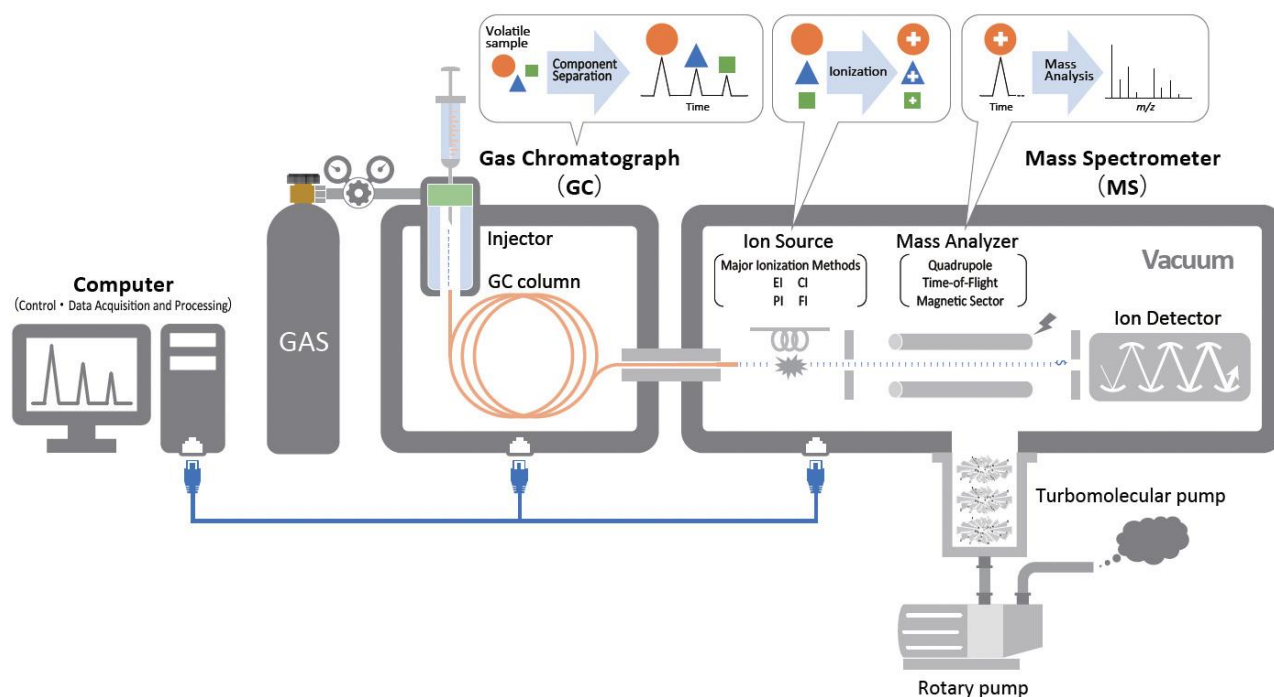


Рис. 1. Газовий хроматограф-мас-спектрометр [5].

Спочатку зразок воску піддається випаровуванню та інжектуються в газовий хроматограф. Тут компоненти воску розділяються на основі їхніх фізичних властивостей (температури кипіння, полярності) при проходженні через довгу капілярну колонку. Кожен розділений компонент потім надходить у мас-спектрометр. У мас-спектрометрі молекули іонізуються, фрагментуються, і ці фрагменти розділяються за співвідношенням маси до заряду.

GC-MS дозволяє ідентифікувати та кількісно визначити сотні компонентів бджолиного воску, включаючи різні типи естерів, вуглеводнів, вільних жирних кислот, спиртів та інші сполуки, які складають його складну матрицю. Цей метод є незамінним для виявлення навіть невеликих кількостей сторонніх домішок, таких як парафін, церезин, стеарин, рослинні олії та інші речовини, які фальсифікатори можуть додавати для зниження собівартості. Оскільки GC-MS може "бачити" молекули, які відрізняються від природних компонентів воску, вона надає дуже точні докази фальсифікації. Допомогає встановити відповідність складу воску встановленим стандартам якості.

2. Інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є з порушеним повним внутрішнім відбиттям (FTIR-ATR)

Це швидкий, неруйнівний та високоефективний метод для якісного аналізу матеріалів. Зразок воску поміщається безпосередньо на кристал ATR (Attenuated Total Reflectance). Інфрачервоне світло проходить через кристал і взаємодіє з поверхнею зразка, проникаючи на дуже невелику глибину. Молекули воску поглинають інфрачервоне випромінювання на певних

частотах, що відповідають коливанням їхніх хімічних зв'язків. Отриманий спектр є унікальним "хімічним відбитком пальця" зразка [12].

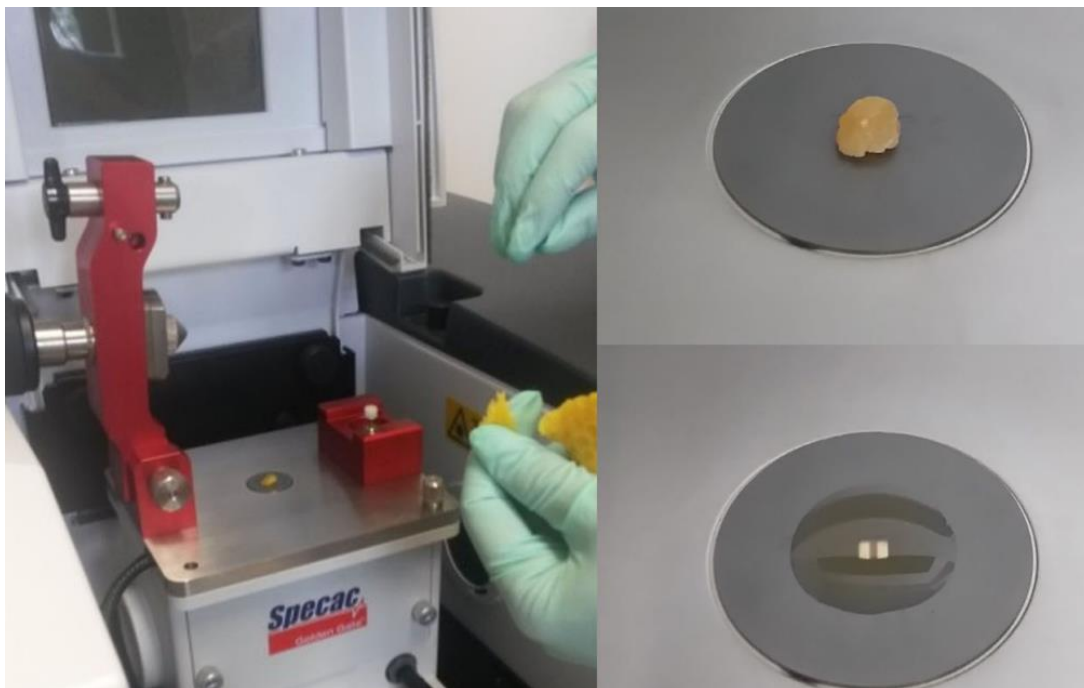


Рис. 2. Зразок бджолиного воску на кристалі ATR (алмаз), підготовлений для отримання його ІЧ-спектру (після плавлення при 75°C).
(Фото: Svječnjak L. [2]).

FTIR-ATR дозволяє дуже швидко визначити загальну автентичність бджолиного воску, порівнюючи його спектр з еталонними спектрами чистого воску. Такий метод чутливий до присутності основних класів органічних сполук. Наприклад, наявність додаткових смуг поглинання, характерних для парафіну або поліетилену, може швидко вказати на фальсифікацію. Це особливо корисно для скринінгу великої кількості зразків, оскільки метод є неруйнівним і вимагає мінімальної підготовки зразка. Допомогає перевірити, чи відповідає зразок очікуваному хімічному складу бджолиного воску.

3. Рідинна хроматографія (РХ)

Рідинна хроматографія (РХ), зокрема її найбільш поширена та потужна форма – вискоєфективна рідинна хроматографія (ВЕРХ або HPLC) – є одним з основних аналітичних методів, що широко застосовується для розділення, ідентифікації та кількісного визначення компонентів у рідких зразках. Цей метод незамінний для аналізу складних сумішей, які не є летючими або термостабільними, що робить його ідеальним для багатьох органічних сполук.

Зразок розчиняється у відповідному розчиннику і пропускається через колонку, заповнену стаціонарною фазою. Компоненти розділяються на основі їхньої взаємодії з рухомою (розчинник) та стаціонарною фазами. Розділені компоненти потім детектуються за допомогою різних детекторів (наприклад, УФ-детектор, мас-спектрометр).

Виявлення залишків пестицидів – це основне застосування РХ для бджолиного воску. Багато пестицидів, особливо ті, що є полярними або термолабільними (чутливими до нагрівання), не можуть бути ефективно проаналізовані за допомогою GC-MS. РХ дозволяє ідентифікувати та кількісно визначити широкий спектр залишків ветеринарних препаратів та пестицидів, які можуть накопичуватися у воску. Це критично важливо для безпеки харчових продуктів та здоров'я бджіл. Така методика може бути використана для виявлення інших водорозчинних або полярних забруднювачів, що можуть потрапити у віск.

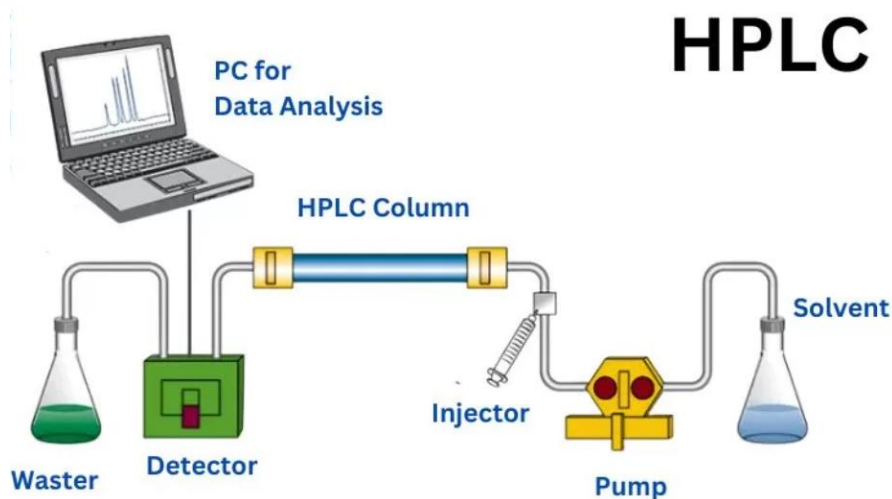


Рис. 3. Високоєфективна рідинна хроматографія (ВЕРХ) [6].

4. Мас-спектрометрія ізотопних відношень (IRMS)

Мас-спектрометрія ізотопних відношень (IRMS) – це потужний інструмент, який вимірює відносні кількості стабільних ізотопів у зразку. Зразок спалюється або розкладається для отримання простих газів, які потім надходять у мас-спектрометр. У ньому вимірюється співвідношення мас ізотопів цих елементів. Оскільки ізотопний склад речовини залежить від її походження, дієти організму, географічного розташування та кліматичних умов, IRMS може надати унікальну інформацію про її "слід".

Основне та дуже цінне застосування IRMS для бджолиного воску це визначення географічного походження зразку. Бджолиний віск синтезується бджолами з цукрів (переважно з меду), а ізотопний склад меду, в свою чергу, відображає ізотопний склад рослин, з яких був зібраний нектар. Таким чином, вимірюючи ізотопні співвідношення вуглецю або водню у воску, можна з високою точністю встановити регіон, з якого він походить. Саме тому IRMS є ефективним інструментом у боротьбі з шахрайством, коли віск видається за такий, що походить з певного престижного регіону, хоча насправді вироблений в іншому місці. Це допомагає підтвердити автентичність та географічну ідентифікацію продукції [2].

Ці методи, застосовані окремо або в комбінації, забезпечують всебічний контроль якості та автентичності бджолиного воску, допомагаючи захистити як споживачів, так і репутацію бджолярів.

Крім того, розглядаються методи вивчення впливу підробленої вощини на будівництво стільників та аналітичні протоколи для визначення залишків пестицидів за допомогою різних хроматографічних і спектроскопічних технік. Оскільки бджолиний віск може бути шляхом передачі хвороб, представлені також методи виявлення патогенів. Для забезпечення надійності результатів наводяться рекомендації щодо належної лабораторної практики та детальні описи методик з їхніми перевагами та недоліками [3].

Бджолиний віск (*Apis mellifera*) – це справді дивовижна природна речовина, яка є не просто будівельним матеріалом, а й надзвичайно складною ліпідною сумішшю, що містить понад 300 різних хімічних компонентів. Цей склад робить віск унікальним і багатофункціональним. Серед цих компонентів домінують естери, вуглеводні та вільні кислоти. Естери становлять більшу частину воску і є ключовими для його фізичних властивостей, таких як твердість і пластичність. Вони утворюються в результаті реакції жирних кислот і спиртів. Вуглеводні включають як алкани, так і алкени, які надають воску водонепроникності та стійкості до розкладання. Вільні кислоти хоча їхня частка менша, ніж естерів, вони відіграють важливу роль у функціонуванні воску, впливаючи на його температуру плавлення та інші характеристики [10].

Цей склад відіграє критично важливу роль у житті бджіл. Наприклад, він бере участь у розпізнаванні членів гнізда, адже кожна сім'я має свій унікальний хімічний "відбиток" на воску. Крім того, віск допомагає бджолам у зв'язуванні токсинів, що може бути важливою захисною функцією у вулику.

Основними родинami сполук, вміст яких перевищує 5%, є алкани, алкени, вільні жирні кислоти та естери. Ці сполуки представлені гомологічними рядами, що відрізняються на два атоми вуглецю, що свідчить про їхнє спільне біохімічне походження та послідовну будову. Це означає, що в воску присутні молекули з подібною структурою, але різною довжиною вуглецевого ланцюга.

Фізико-хімічні параметри є давно визнаним і важливим інструментом для оцінки якості та автентичності бджолиного воску. Протягом багатьох років фахівці проводили численні дослідження, щоб встановити надійні еталонні значення для цих показників, що слугують орієнтиром для визначення чистоти продукту. Міжнародна комісія з меду (ІНС) запропонувала низку таких параметрів, які активно використовуються в сучасній лабораторній практиці. До таких параметрів відносяться температура плавлення, число омилення, ефірне число, а також співвідношення ефірного та кислотного чисел.

Температура плавлення – це один із найпростіших, але водночас ключових показників якості бджолиного воску. Чистий, нефальсифікований бджолиний віск має відносно стабільну та вузьку діапазонну температуру плавлення, яка зазвичай коливається в межах 61 - 65° С [11]. Це значення є характерною фізичною властивістю, що відрізняє його від інших восків. Будь-які значні відхилення від цього діапазону можуть свідчити про наявність домішок.

Наприклад, додавання парафіну, який плавиться при нижчих температурах (45 - 65° C), або стеарину (стеаринової кислоти), що плавиться при вищих температурах (69 - 70° C), призведе до зміни температури плавлення зразка воску. Визначення цього показника є швидким і ефективним способом для початкового скринінгу зразків на наявність фальсифікації.

Кислотне число відображає кількість вільних жирних кислот, присутніх у воску. Воно вимірюється в міліграмах гідроксиду калію (KOH), необхідних для нейтралізації вільних кислот в одному грамі воску. Значення кислотного числа може варіюватися залежно від кількох факторів: віку воску (з часом кількість вільних кислот може зростати), умов його зберігання та, що найважливіше, наявності фальсифікуючих домішок. Наприклад, додавання деяких рослинних олій або жирів, що містять вільні жирні кислоти, може значно підвищити кислотне число. Цей показник допомагає оцінити не тільки чистоту, а й свіжість воску.

Число омилення є комплексним показником, що характеризує загальну кількість естерів і вільних кислот у воску, які можуть бути омилені (розкладені) лугом. Воно вимірюється в міліграмах KOH, необхідних для омилення одного грама воску. Оскільки естери становлять основну частину бджолиного воску, це число є важливим індикатором його основної ліпідної природи. Значне зниження числа омилення може вказувати на розведення воску речовинами, які не омиляються, наприклад, парафіном або іншими вуглеводнями, які є хімічно інертними до лугів. Таким чином, число омилення слугує важливим критерієм для виявлення грубої фальсифікації.

Ефірне число безпосередньо показує кількість естерів, що містяться у воску. Воно розраховується як різниця між числом омилення та кислотним числом. Цей показник є надзвичайно важливим для ідентифікації автентичного бджолиного воску, оскільки саме естери становлять його значну, характерну частину (зазвичай близько 70 - 80%). Відповідність ефірного числа встановленим нормам є сильним доказом натуральності воску. Будь-яке істотне відхилення, особливо зниження, може свідчити про додавання не-ефірних речовин, що є ознакою фальсифікації.

Співвідношення ефірного та кислотного чисел – це один з найбільш чутливих показників для виявлення фальсифікації бджолиного воску. Воно відображає баланс між основними компонентами воску – естерами та вільними кислотами. Додавання деяких домішок, навіть у відносно невеликих кількостях, може значно змінити це співвідношення, при цьому не впливаючи суттєво на окремі значення кислотного або ефірного числа. Наприклад, фальсифікація парафіном або іншими мінеральними восками, які не мають вільних кислот та естерів, призведе до нехарактерного зниження цього співвідношення. Цей інтегрований показник допомагає виявити навіть складніші схеми фальсифікації, що робить його незамінним у комплексній оцінці автентичності воску.

Ці показники часто використовуються для первинної оцінки якості та виявлення фальсифікації. Однак, попри наявність запропонованих ІНС

критеріїв якості та загальне визнання запропонованих значень для чистого бджолиного воску, бджолиний віск, що використовується в бджільництві, досі не підлягає обов'язковому контролю якості та автентичності. Ця відсутність жорсткого регулювання призводить до зростання його фальсифікації [4].

На жаль, традиційні фізико-хімічні методи, попри їхню важливість, мають певні обмеження у виявленні деяких поширених домішок. Це пов'язано з високими порогами їхнього виявлення. Наприклад, незначні домішки парафіну або церезину, які мають схожі фізико-хімічні властивості з воском, можуть бути не виявлені цими методами або ж для їх виявлення потрібна значна кількість домішок. Це створює "сіру зону", де фальсифікатори можуть додавати невеликі кількості сторонніх речовин, залишаючись непоміченими.

Крім того, попри загальне визнання запропонованих значень для чистого бджолиного воску, ці методи ще не стали офіційно застосовуваними для загального контролю якості та автентифікації. Все це підкреслює необхідність розробки та впровадження більш чутливих та сучасних методів аналізу, таких як хроматографічні та спектроскопічні, про які йшлося раніше. Вони можуть доповнити традиційні фізико-хімічні показники, забезпечуючи більш точну та надійну ідентифікацію автентичності бджолиного воску та виявлення навіть незначних фальсифікацій.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Бджолиний віск – це набагато більше, ніж просто будівельний матеріал для бджолиної сім'ї; він є невід'ємним і ключовим елементом її життєдіяльності, виконуючи функції від зберігання їжі до участі в хімічній комунікації. Його складний хімічний склад і унікальні фізико-хімічні властивості роблять віск об'єктом, що потребує ретельного та всебічного дослідження. Такий глибокий аналіз необхідний для забезпечення здоров'я бджіл, які є ключовими для екосистеми, а також для гарантування високої якості та безпечності продуктів бджільництва для споживачів.

Сучасні аналітичні методи, зокрема хроматографія (газова та рідинна) та спектроскопія (FTIR-ATR та мас-спектрометрія ізотопних відношень), значно розширили наші можливості. Вони дозволяють не тільки детально вивчати склад воску на молекулярному рівні, а й ефективно виявляти фальсифікацію сторонніми домішками, такими як парафін або стеарин, а також різні види забруднень, включаючи залишки пестицидів і ветеринарних препаратів. Ці інструменти є критично важливими для підтримки автентичності та чистоти бджолиного воску, що безпосередньо впливає на довіру споживачів до всієї бджільницької продукції.

Перспективи подальших досліджень мають бути зосереджені на кількох ключових напрямках, серед яких можна виділити наступні.

1. Розробка експрес-методів контролю якості. Необхідно створювати швидкі та доступні методи аналізу, які можуть бути використані безпосередньо на пасіках або в пунктах прийому воску, що дозволить оперативно виявляти фальсифікацію та забруднення на ранніх етапах.

2. Поглиблене вивчення впливу домішок на бджіл. Детальніше дослідити, як різні фальсифікації та забруднення воску впливають на здоров'я бджолиних сімей, їхню продуктивність та стійкість до захворювань.
3. Визначення регіональних "відбитків" воску. Розширити дослідження з використанням IRMS для створення комплексних баз даних ізотопних профілів бджолиного воску з різних географічних регіонів України та світу. Це посилить боротьбу з шахрайством та гарантуватиме походження продукції.
4. Інтеграція цифрових технологій. Впровадження блокчейн-технологій або інших цифрових систем для відстеження походження та якості воску від пасіки до кінцевого споживача.
5. Екологічний моніторинг. Використання бджолиного воску як біоіндикатора для моніторингу стану навколишнього середовища, виявлення нових типів забруднювачів та оцінки їх поширення.

Таким чином, інвестиції в наукові дослідження та імплементація їхніх результатів у практику дозволять не тільки захистити споживачів від недоброякісної продукції, а й забезпечити сталий розвиток бджільництва в цілому, сприяючи збереженню бджолиних популяцій та екологічної рівноваги.

Список використаної літератури

1. Adamczyk S., Lazaro, R., Perez-Arquillue, C., & Herrera, A. (2007). Determination of synthetic acaricides residues in beeswax by high-performance liquid chromatography with photodiode array detector. *Analytica Chimica Acta*, 581(1), 95–101. doi:10.1016/j.aca.2006.07.085.
2. Lidija Svečnjak, Lesley Ann Chesson, Albino Gallina, Miguel Maia, Marianna Martinello, Franco Mutinelli, Mustafa Necati Muz, Fernando M. Nunes, Francis Saucy, Brett James Tipple, Klaus Wallner, Ewa Waś & Todd Alan Waters (2019) Standard methods for *Apis mellifera* beeswax research, *Journal of Apicultural Research*, 58:2, 1-108, <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1571556>
3. Boi, M., Serra, G., Colombo, R., Lodesani, M., Massi, S., & Costa, C. (2016). A 10 year survey of acaricide residues in beeswax analysed in Italy. *Pest Management Science*, 72, 1366–1372. doi:10.1002/ps.4161
4. Human, H., Brodschneider, R., Dietemann, V., Dively, G., Ellis, J., Forsgren, E., ... & Zheng, H.-Q. (2013). Miscellaneous standard methods for *Apis mellifera* research. In V. Dietemann, J. D. Ellis, & P. Neumann (Eds.), *The coloss beebook*, Vol. I: standard methods for *Apis mellifera* research. *Journal of Apicultural Research*, 52(4), 1–53. doi: 10.3896/IBRA.1.52.4.10
5. JEOL. Gas Chromatograph Mass Spectrometer URL: <https://www.jeol.com/products/science/gcms.php>
6. UHPLCS «What is the difference between HPLC and other chromatography techniques (GC, LCMS, FPLC, UPLC, etc.)?» URL: <https://surl.lu/cxxfrc>

7. Bogdanov, S. (2016a). Beeswax: Production, properties, composition and control. Beeswax book (Chapter 1). Bee Product Science, pp. 1–18. Retrieved from <http://www.beehexagon.net/wax/>
8. Bogdanov S, Beeswax: quality issues today. Bee World 85: 46–50 (2004). DOI10.1080/0005772X.2004.11099623
9. «Для чого можна використовувати бджолиний віск?» URL: <https://ua.msfbees.com/info/what-can-beeswax-be-used-for-73375482.html>
10. Контроль безпечності та якості меду і апіпродуктів: монографія / Н.М. Богатко, І.М. Кравченко, Л.Г. Бартків та ін. - Біла Церква, 2023. 160 с.
11. Харченко О.М., Оспіщев К.О., Маса бджолиного воску за різної температури пару у відцентровій воскотопці АВВ-100. XX-й Міжнародний форум молоді " МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 В XXI СТОЛІТТІ ". Збірка матеріалів форуму. – Харків: ДБТУ. 2024. 360с.
12. Виявлення фальсифікатів бджолиного воску методом інфрачервоної спектроскопії відбивання В.В.Вишняк, С. І. Литвинчук, В. Є. Носенко, Ю. В. Коробка, В. п. Домбровський Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2019. Т. 25, № 4. С. 159 - 166. URI: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/32753>

Nazarii Bilko,

PhD student of the Department of Beekeeping,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
15 Heroyiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0009-0006-5064-9977
e-mail: bilko.nazar@gmail.com

Ihor Holovetskyi,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
15 Heroyiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-0003-9178
e-mail: apismed@ukr.net

MODERN METHODS OF BEESWAX QUALITY RESEARCH APIS MELLIFERA

Abstract

This study delves into the multifaceted and critical role of beeswax (Apis mellifera) within bee colonies. Far more than just a structural material, this complex natural lipid is essential for honeycomb construction, crucial for the storage of vital resources like honey and pollen, and plays a significant part in the intricate chemical communication among bees. The increasing global focus on bee health and the integrity of apicultural products underscores the growing relevance of comprehensive beeswax research. This research is fundamentally driven by the need to guarantee bee welfare and ensure the authenticity and safety of beeswax-derived products for consumers worldwide.

The paper meticulously analyzes the methodology for collecting beeswax samples, emphasizing the advantages of sourcing "wild" combs for chemical analysis due to their minimized risk of external contamination. It also details precise methods for obtaining pristine wax flakes directly from the bees. A core component of this study is the detailed exposition of cutting-edge analytical techniques used in beeswax research. These include Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), an indispensable tool for exhaustive compositional analysis and the precise detection of even subtle fraudulent additions. Fourier Transform Infrared Spectroscopy with Attenuated Total Reflectance (FTIR-ATR) is highlighted for its rapid ability to identify the unique "chemical fingerprint" of genuine beeswax and detect impurities with high efficiency. Liquid Chromatography (LC) is presented as the primary method for identifying and quantifying pesticide residues and other environmental contaminants that can accumulate in wax. Furthermore, Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS) is recognized as a highly valuable instrument for accurately determining the geographical origin of beeswax, a crucial aspect in combating product mislabeling and fraud.

Our findings confirm that beeswax is an extraordinarily complex lipid mixture, comprising over 300 distinct components, with esters, hydrocarbons, and free fatty acids being the predominant classes. The research discusses the established importance of physicochemical parameters – such as melting point, acid number, saponification number, ester number, and their ratios – as defined by the International Honey Commission (IHC) criteria for assessing quality and identifying adulteration. However, the study also critically reveals that despite their foundational role, these traditional methods possess inherent limitations, particularly due to their relatively high detection thresholds for certain impurities. Moreover, a significant challenge remains in the lack of harmonized legislation and mandatory quality control for beeswax, leading to inconsistencies in authentication across various regions and contributing to the global issue of wax adulteration. This research strongly advocates for the urgent implementation of unified regulatory frameworks and stringent, compulsory quality control measures for beeswax. Such initiatives are vital not only for safeguarding the health of bee populations but also for ensuring the integrity of the beekeeping industry and protecting consumers from substandard products.

Keywords: beeswax, wax quality, wax contamination, raw wax analysis, beekeeping.

References

1. Adamczyk S., Lazaro, R., Perez-Arquillue, C., & Herrera, A. (2007). Determination of synthetic acaricides residues in beeswax by high-performance liquid chromatography with photodiode array detector. *Analytica Chimica Acta*, 581(1), 95–101. doi:10.1016/j.aca.2006.07.085
2. Lidija Svečnjak, Lesley Ann Chesson, Albino Gallina, Miguel Maia, Marianna Martinello, Franco Mutinelli, Mustafa Necati Muz, Fernando M. Nunes, Francis Saucy, Brett James Tipple, Klaus Wallner, Ewa Waś & Todd Alan Waters (2019) Standard methods for *Apis mellifera* beeswax research, *Journal of Apicultural Research*, 58:2, 1-108, <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1571556>
3. Boi, M., Serra, G., Colombo, R., Lodesani, M., Massi, S., & Costa, C. (2016). A 10 year survey of acaricide residues in beeswax analysed in Italy. *Pest Management Science*, 72, 1366–1372. doi:10.1002/ps.4161
4. Human, H., Brodschneider, R., Dietemann, V., Dively, G., Ellis, J., Forsgren, E., ... & Zheng, H.-Q. (2013). Miscellaneous standard methods for *Apis mellifera* research. In V. Dietemann, J. D. Ellis, & P. Neumann (Eds.). *The coloss beebook*,

- Vol. I: standard methods for *Apis mellifera* research. Journal of Apicultural Research, 52(4), 1–53. doi: 10.3896/IBRA.1.52.4.10
5. JEOL. Gas Chromatograph Mass Spectrometer URL: <https://www.jeol.com/products/science/gcms.php>
 6. UHPLCS «What is the difference between HPLC and other chromatography techniques (GC, LCMS, FPLC, UPLC, etc.)?» URL: <https://surl.lu/cxxfrc> (дата звернення 01.06.2025).
 7. Bogdanov, S. (2016a). Beeswax: Production, properties, composition and control. Beeswax book (Chapter 1). Bee Product Science, pp. 1–18. Retrieved from <http://www.beehexagon.net/wax/>
 8. Bogdanov S, Beeswax: quality issues today. Bee World 85: 46–50 (2004). DOI10.1080/0005772X.2004.11099623
 9. Dlia choho mozna vykorystovuvaty bdzholynyi visk? URL: <https://ua.msfbees.com/info/what-can-beeswax-be-used-for-73375482.html> (data zvernennia 01.06.2025) [In Ukrainian].
 10. Kontrol bezpechnosti ta yakosti medu i apiproduktiv: monohrafiia / N.M. Bohatko, I.M. Kravchenko, L.H. Bartkiv ta in. Bila Tserkva, 2023. 160 p.
 11. Kharchenko O.M., Ospishchev K.O., Masa bdzholynoho vosku za riznoi temperatury paru u vidtsentrovii voskotoptsi AVV-100. KhKh-y Mizhnarodnyi forum molodi «MOLOD I INDUSTRIIA 4.0 V XXI STOLITTI». Zbirka materialiv forumu. Kharkiv: DBTU. 2024. 360 p. [In Ukrainian].
 12. Vyivlennia falsyfikativ bdzholynoho vosku metodom infrachervonoi spektroskopii vidbyvannia/ V.V. Vyshniak, S. I. Lytvynchuk, V. Ye. Nosenko, Yu. V. ta in. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*. 2019. T. 25, № 4. P. 159-166. URI: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/32753> (data zvernennia 01.06.2025) [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 05 червня 2025 року
Стаття пройшла рецензування 10 липня 2025 року
Стаття опублікована 30 вересня 2025 року