

ІДЕНТИФІКАЦІЯ БДЖОЛИНОГО ОБНІЖЖЯ, ЯК ІНГРЕДІЄНТА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ХАРЧУВАННЯ

Леонора АДАМЧУК, доктор наук, Інститут ветеринарної медицини НААН України, Приватна наукова установа «Юкрейнієн Саєнс Хаб», Громадська організація «Фундація жінок пасічниць», Україна, <https://orcid.org/0000-0003-2015-7956>, leonora.adamchuk@gmail.com

Ян БРІНДЗА, PhD, Словацький сільськогосподарський університет, Словаччина, <https://orcid.org/0000-0001-8388-8233>

Бджолине обніжжя сьогодні розглядається як перспективний інгредієнт функціонального харчування завдяки його багатому хімічному складу та вираженим біологічним властивостям. Сучасні дослідження підтверджують, що воно містить широкий спектр поживних речовин та біоактивних сполук, які забезпечують антиоксидантну, імуномодулюючу та метаболічно-регулюючу дію. Зокрема, науковці (Anjum et. al., 2024) підкреслюють потенціал бджолиного обніжжя як харчової та лікувальної добавки, включно з новими підходами нанотехнологій для підвищення його біодоступності. Qiao et. al. (2024) акцентує на важливості руйнування оболонки пилок зерен для кращого засвоєння нутрієнтів та фітохімікатів. В аналітичному огляді (Alcalá-Orozco et. al., 2024) наголошено на необхідності стандартизації технологій обробки та створення чітких протоколів для інтеграції бджолиного обніжжя у функціональну харчову індустрію. Сучасні міжнародні дослідження (Iorizzo et. al., 2025; Niu et. al., 2025; Sharma, Thakur & Nanda, 2025) підтверджують, що ідентифікація бджолиного обніжжя як інгредієнта функціонального харчування потребує комплексного підходу. Запропоновано нові хроматографічні та спектроскопічні протоколи для автентифікації та стандартизації складу. Дослідження доводять, що ферментативна обробка та мікрокапсулювання значно підвищують біодоступність амінокислот і флавоноїдів, зберігаючи антиоксидантну активність. Також показано імуномодулюючий ефект бджолиного обніжжя у комбінації з пробіотиками, що має значення для профілактики метаболічних порушень.

Зважаючи на це, можна виокремити основні етапи ідентифікації бджолиного обніжжя, як інгредієнта функціонального харчування, що наведені нижче.

Аналітичні методи ідентифікації за ботанічним походженням. Точна ідентифікація бджолиного обніжжя починається з визначення його ботанічного походження, яке визначає харчовий та біоактивний профіль і впливає на функціональні властивості. Дослідження показують значні відмінності у вмісті білків, ліпідів, фенольних сполук та мікроелементів між монофлорними та поліфлорними зразками, що підкреслює важливість використання палінології (мікроскопії), хроматографічних та спектроскопічних методів для автентифікації.

Вплив технологічної обробки на склад і стабільність маркерів. Етапи технологічної обробки – низькотемпературне сушіння, вакуумне чи інфрачервоне зневоднення, подрібнення,

мікронізація та мікрокапсулювання – впливають на збереження термолабільних вітамінів, ферментів, каротиноїдів та флавоноїдів. Огляди підкреслюють, що оптимізовані методи сушіння та капсулювання дозволяють мінімізувати втрати біоактивних речовин і підвищити стабільність продукту, тоді як надмірне нагрівання призводить до деградації маркерів.

Підвищення біодоступності та верифікація. Оболонка пилок зерен стійка до травних ферментів людини, що обмежує засвоєння цінних компонентів. Тому застосовують механічне подрібнення, ферментативну обробку, мікронізацію та поєднання з пробіотичними культурами. Це сприяє кращому вивільненню біоактивних сполук, що підтверджується аналізом маркерів (наприклад, фенольних профілів та антиоксидантної активності).

Безпечність, забруднювачі та контроль якості. Ідентифікація має супроводжуватися перевіркою на залишки пестицидів, мікробіологічні забруднення та ризики псування. Поєднання хімічного та мікробіологічного контролю з автентифікацією складу забезпечує відповідність стандартам безпечності функціональних продуктів і довіру споживачів.

Функціональні властивості, пов'язані з флористичним походженням. Антиоксидантна, імуномодуюча та метаболічно-регулююча активність обніжжя залежить від його ботанічного походження. Вибір та ідентифікація монофлорних зразків дозволяє створювати продукти з цільовими функціональними ефектами, що підкреслює важливість автентифікації для розробки нутрицевтиків.

Новітні технології для надійної ідентифікації. Сучасні підходи включають метаболоміку, протеоміку та нанотехнології, які забезпечують комплексні профілі та збереження маркерів після технологічної обробки. Поєднання цих методів із традиційними палінологічними та хроматографічними підходами дозволяє досягти високої точності ідентифікації, необхідної для регуляторного та клінічного застосування у функціональному харчуванні.

Сучасні методи ідентифікації бджолиного обніжжя ґрунтуються на поєднанні класичних та високотехнологічних підходів. Традиційна **палінологія** (мікроскопічний аналіз пилок зерен) дозволяє визначити ботанічне походження, проте сьогодні її доповнюють **хроматографічні методи** (HPLC, GC-MS) для встановлення профілю амінокислот, фенольних сполук та флавоноїдів. **Спектроскопія** (FTIR, NMR, UV-Vis) використовується для швидкої автентифікації та порівняння з еталонними зразками. Перспективними є **метаболоміка** та **протеоміка**, які забезпечують комплексний аналіз малих молекул і білкових маркерів, а також **молекулярно-генетичні методи** (DNA barcoding) для точного визначення флористичного походження. Таким чином, сучасна ідентифікація бджолиного обніжжя є багаторівневою системою, яка поєднує морфологічні, хімічні та молекулярні методи для забезпечення автентичності, безпечності та функціональної ефективності продукту.

IDENTIFICATION OF BEE POLLEN LOADS AS AN INGREDIENT OF FUNCTIONAL NUTRITION

Leonora ADAMCHUK, DrSc, Institute of Veterinary Medicine of NAAS of Ukraine; Independent Research Institution Ukrainian Science Hub; NGO Foundation of Women Beekeepers, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-2015-7956>, leonora.adamchuk@gmail.com

Jan BRINDZA, PhD, Slovak University of Agriculture, Slovakia, <https://orcid.org/0000-0001-8388-8233>

Bee pollen loads are currently regarded as a promising ingredient of functional nutrition due to their rich chemical composition and pronounced biological properties. Recent studies confirm that they contain a wide spectrum of nutrients and bioactive compounds that provide antioxidant, immunomodulatory, and metabolic-regulatory effects. In particular, researchers (Anjum et al., 2024) emphasize the potential of bee pollen loads as both a dietary and therapeutic supplement, including novel nanotechnology approaches to enhance their bioavailability. Qiao et al. (2024) highlight the importance of disrupting the pollen grain wall to improve the absorption of nutrients and phytochemicals. The analytical review by Alcalá-Orozco et al. (2024) stresses the need for standardizing processing technologies and establishing clear protocols for integrating bee pollen loads into the functional food industry. Contemporary international studies (Iorizzo et al., 2025; Niu et al., 2025; Sharma, Thakur, & Nanda, 2025) further confirm that the identification of bee pollen loads as a functional nutrition ingredient requires a comprehensive approach. Novel chromatographic and spectroscopic protocols have been proposed for authentication and composition standardization.

In view of this, the main stages of identifying bee pollen loads as an ingredient of functional nutrition can be distinguished, as outlined below.

Analytical identification methods based on botanical origin. Accurate identification of bee pollen begins with establishing botanical origin, which drives nutritional and bioactive profiles and guides functional use claims. Comparative studies show substantial variation in proteins, lipids, phenolics, and micronutrients across monofloral and polyfloral pollen from different regions, underscoring the need for palynology (microscopy), chromatographic fingerprints, and spectroscopic profiling to authenticate and classify ingredients.

Processing effects on composition and marker stability. Processing steps used to prepare pollen for functional foods – low-temperature drying, vacuum or infrared dehydration, grinding, micronization, and microencapsulation – impact the integrity of thermolabile vitamins, enzymes, carotenoids, and flavonoids. A comprehensive review highlights that optimized low-temperature and encapsulation techniques preserve bioactive markers and enhance stability, while excessive heat or prolonged exposure accelerates nutrient losses and oxidative changes that can confound identification profiles.

Bioavailability enhancement and verification. The resistant exine of pollen grains limits digestibility; mechanical disruption, enzymatic pretreatment, and nano/microencapsulation can increase release and absorption of bioactive compounds. Emerging nano-enabled carriers and functional formulations are reported to improve bioavailability and targeted delivery, which should be verified by marker recovery (e.g., phenolic signatures, antioxidant capacity) and standardized in-process controls to maintain traceable identification after processing.

Safety, contaminants, and quality authentication. Reliable identification must be coupled with safety screening for pesticide residues, microbiological contamination, and moisture-driven spoilage, all of which vary with origin and handling. Integrating residue analysis and microbial testing with compositional profiling ensures that authenticated pollen also meets functional food safety thresholds, supporting consistent labeling and health-benefit claims.

Functional properties linked to floral source. Functional efficacy – antioxidant, immunomodulatory, and metabolic-support activities – correlates with floral-source-specific phenolic and flavonoid profiles. Comparative biochemical work demonstrates that selecting and identifying monofloral pollen types can tailor formulations to desired functional outcomes, reinforcing the importance of precise origin authentication in product development and claim substantiation.

Emerging technologies for robust identification. Advanced multi-omics and nano-enabled approaches are expanding the toolkit: metabolomics for comprehensive small-molecule fingerprints, proteomics for enzyme markers, and nanoformulations that preserve identifiable signatures post-processing. Reviews emphasize combining these techniques with conventional palynology and chromatography to achieve high-confidence identification suitable for regulatory and clinical translation in functional nutrition

Modern methods of identifying bee pollen loads are based on a combination of classical and high-technology approaches. Traditional palynology (microscopic analysis of pollen grains) allows the determination of botanical origin; however, today it is complemented by chromatographic methods (HPLC, GC-MS) to establish amino acid, phenolic compound, and flavonoid profiles. Spectroscopy (FTIR, NMR, UV-Vis) is used for rapid authentication and comparison with reference samples. Promising approaches include metabolomics and proteomics, which provide comprehensive analysis of small molecules and protein markers, as well as molecular-genetic methods (DNA barcoding) for precise determination of floral origin. Thus, identification of bee pollen loads is a multi-level system that combines morphological, chemical, and molecular methods to ensure authenticity, safety, and functional effectiveness of the product

Leonora Adamchuk gratefully acknowledges that part of this research was conducted during a research stay in Slovakia and funded by the National Scholarship Programme of the Slovak Republic (NSP, application ID 57381).