

ІНТЕГРАЦІЯ БІОХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЛКУ У СТАНДАРТИ БЕЗПЕКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Владіміра БЕЛЛА, PhD, Дослідницький Центр AgroBioTech, Словацький сільськогосподарський університет у Нітрі, Словацька Республіка, <https://orcid.org/0000-0002-5844-8938>

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

Йозеф ГАШПАРОВСЬКИЙ, Асоціація захисту здорового способу життя «Клініка органічного бджіл», Республіка Сербія, <https://orcid.org/0009-0006-5087-6475>

Артем АНТОНІВ, PhD, Приватна наукова установа «Юкрейнієн Саєнс Хаб», Україна, <https://orcid.org/0000-0002-6614-4248>, artemantoniv@gmail.com

У сучасних умовах глобальних викликів продовольчої безпеки та кліматичних змін бджолине обніжжя розглядається не лише як традиційний продукт бджільництва, але й як перспективний функціональний інгредієнт у харчових системах. Його багатокомпонентний склад – білки, амінокислоти, вітаміни, мінерали, антиоксиданти – формує високу біологічну цінність. Проте інтеграція обніжжя у стандарти харчової безпеки потребує врахування його біохімічних характеристик та потенційних ризиків контамінації.

Біохімічні характеристики бджолиного обніжжя визначають його високу харчову та функціональну цінність у системах живлення людини. Бджолине обніжжя містить до 30–35% протеїнів, включно з незамінними амінокислотами, що робить його концентрованим джерелом нутрієнтів для підтримання метаболічних процесів. Важливим компонентом є антиоксидантні сполуки – фенольні кислоти, флавоноїди та каротиноїди, які забезпечують захист організму від оксидативного стресу. Крім того, пилок характеризується значним вмістом вітамінів групи В, С та Е, а також мінеральних елементів, таких як кальцій, магній і залізо, що сприяють нормалізації фізіологічних функцій. Вуглеводи та ліпіди, присутні у складі, забезпечують енергетичну цінність продукту та беруть участь у регуляції клітинного метаболізму. Згідно з дослідженнями (Rodríguez-Pólit et. al., 2023), біохімічний профіль пилку значно варіює залежно від його ботанічного походження, що підкреслює необхідність врахування цієї мінливості у процесах стандартизації та розробки регламентів безпеки харчових продуктів.

Попри високу харчову цінність, бджолине обніжжя може становити потенційні ризики для безпеки харчових продуктів, оскільки здатне акумулювати різноманітні контамінанти з довкілля. Зокрема, у складі пилку можуть виявлятися залишки пестицидів та важких металів, що залежать від специфіки агроєкосистеми та практик землекористування. Крім того, він може

бути джерелом мікотоксинів та мікробіологічних ризиків, які впливають на якість і безпечність кінцевої продукції. У цьому контексті особливого значення набуває системний контроль якості та простежуваність походження юджолиного обніжжя, що дозволяє забезпечити його відповідність сучасним вимогам харчової безпеки. Саме ці аспекти є ключовими умовами інтеграції бджолиного обніжжя, як сировини, у харчові та оздоровчі продукти (Kolayli et. al., 2024), оскільки вони гарантують не лише збереження його біологічної цінності, але й мінімізацію ризиків для здоров'я споживачів.

Інтеграція біохімічних характеристик бджолиного обніжжя у стандарти харчової безпеки потребує комплексного підходу, що поєднує наукові та регуляторні рішення. Насамперед необхідним є *хімічний профайлінг*, який передбачає створення баз даних біохімічних характеристик пилку різного ботанічного походження, що дозволить забезпечити його ідентифікацію та контроль якості. Важливим кроком є включення до стандартів показників антиоксидантної активності, білкового складу та мікробіологічної чистоти, які визначають як *харчову цінність*, так і *безпечність* продукту. У межах системи НАССР слід адаптувати процедури контролю для продуктів з пилком, враховуючи специфіку його виробництва та можливі ризики контамінації. Крім того, ключовим завданням є *міжнародна гармонізація* стандартів, що забезпечить узгодженість вимог між країнами та сприятиме розвитку глобальної торгівлі продуктами з додаванням пилку. Такий підхід дозволить не лише гарантувати безпечність і якість харчових продуктів, але й інтегрувати пилки як функціональний інгредієнт у сучасні продовольчі системи, орієнтовані на здоров'я людини та екологічну сталість.

Врахування нутрітивного складу бджолиного обніжжя та потенційних ризиків дозволяє не лише гарантувати безпечність харчових продуктів, але й підвищити їх біологічну цінність, забезпечуючи організм необхідними мікронутрієнтами та функціональними сполуками. Такий підхід сприяє розвитку сталих локальних харчових ланцюгів, підтримує дрібних виробників і водночас формує основу для глобальної гармонізації стандартів. У цьому контексті бджолине обніжжя постає як маркер сталості та безпеки, що відображає екологічний стан агроєкосистем і може стати ключовим елементом трансформації продовольчих систем майбутнього, орієнтованих на здоров'я людини та екологічну відповідальність.

Зважаючи на вище зазначене, наш колектив на базі AgroBioTech проводить низку досліджень, що пов'язані з проведенням комплексної оцінки біохімічних характеристик бджолиного обніжжя та їх інтеграцією у сучасні стандарти харчової безпеки. Зокрема, дослідження спрямовані на: створення баз даних хімічного профілю пилку різного ботанічного походження для забезпечення його ідентифікації та простежуваності; аналіз впливу агроєкологічних факторів (кліматичні зміни, землекористування, забруднення довкілля) на

якість та безпечність пилку; розробку методів контролю контамінантів (пестицидів, важких металів, мікотоксинів) у продуктах бджільництва; оцінку антиоксидантної активності та нутритивної цінності пилку як функціонального інгредієнта у харчових системах; гармонізацію міжнародних стандартів для забезпечення безпечної торгівлі та використання пилку у глобальних продовольчих ланцюгах. Таким чином, наші дослідження спрямовані на формування науково обґрунтованої основи для інтеграції пилку у продовольчі системи нового покоління, що поєднують здоров'я людини, екологічну відповідальність та інноваційні підходи до використання природних ресурсів.

INTEGRATION OF BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF POLLEN INTO FOOD SAFETY STANDARDS

Vladimíra BELLA, PhD, AgroBioTech Research Centre, Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovak Republic, <https://orcid.org/0000-0002-5844-8938>

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

Jozef GAŠPAROVSKI, Association for the protection of healthy lifestyles “Organic Bee Clinic”, Republic of Serbia, <https://orcid.org/0009-0006-5087-6475>

Artem ANTONIV, PhD, Independent Research Institution Ukrainian Science Hub, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-6614-4248>, artemantoniv@gmail.com

In the current context of global challenges related to food security and climate change, bee pollen loads are considered not only as a traditional beekeeping product but also as a promising functional ingredient in food systems. Their multi-component composition – proteins, amino acids, vitamins, minerals, antioxidants – forms high biological value. However, the integration of pollen loads into food safety standards requires consideration of their biochemical characteristics and potential contamination risks.

The biochemical characteristics of bee pollen loads determine their high nutritional and functional value in human diets. Bee pollen loads contain up to 30–35% proteins, including essential amino acids, making them a concentrated source of nutrients for maintaining metabolic processes. An important component is antioxidant compounds – phenolic acids, flavonoids, and carotenoids – that provide protection against oxidative stress. In addition, pollen is characterized by a significant content of vitamins B, C, and E, as well as mineral elements such as calcium, magnesium, and iron, which contribute to the normalization of physiological functions. Carbohydrates and lipids present in

the composition provide the product's energy value and participate in the regulation of cellular metabolism. According to studies (Rodríguez-Pólit et al., 2023), the biochemical profile of pollen varies significantly depending on its botanical origin, highlighting the necessity of considering this variability in standardization processes and the development of food safety regulations.

Despite its high nutritional value, bee pollen loads may pose potential risks to food safety, as they are capable of accumulating various environmental contaminants. In particular, pollen may contain residues of pesticides and heavy metals, which depend on the specific agroecosystem and land-use practices. Moreover, it can be a source of mycotoxins and microbiological hazards that affect the quality and safety of the final product. In this context, systematic quality control and traceability of the origin of bee pollen loads acquire special importance, ensuring their compliance with modern food safety requirements. These aspects are key conditions for the integration of bee pollen loads, as raw material, into food and health products (Kolayli et al., 2024), since they guarantee not only the preservation of its biological value but also the minimization of risks to consumer health.

The integration of the biochemical characteristics of bee pollen loads into food safety standards requires a comprehensive approach that combines scientific and regulatory solutions. First and foremost, chemical profiling is necessary, involving the creation of databases of the biochemical characteristics of pollen of different botanical origins, which will ensure its identification and quality control. An important step is the inclusion in standards of indicators such as antioxidant activity, protein composition, and microbiological purity, which determine both the nutritional value and the safety of the product. Within the HACCP system, control procedures should be adapted for products containing pollen, taking into account the specifics of its production and potential contamination risks. In addition, a key task is the international harmonization of standards, which will ensure consistency of requirements between countries and promote the development of global trade in pollen-containing products. Such an approach will not only guarantee the safety and quality of food products but also integrate pollen as a functional ingredient into modern food systems oriented toward human health and ecological sustainability.

Considering the nutritional composition of bee pollen loads and potential risks allows not only to guarantee the safety of food products but also to enhance their biological value by providing the body with essential micronutrients and functional compounds. Such an approach contributes to the development of sustainable local food chains, supports small-scale producers, and at the same time establishes the foundation for global harmonization of standards. In this context, bee pollen loads emerge as a marker of sustainability and safety, reflecting the ecological state of agroecosystems and potentially becoming a key element in the transformation of future food systems oriented toward human health and ecological responsibility.

Considering the above, our team at AgroBioTech is conducting a series of studies related to the comprehensive assessment of the biochemical characteristics of bee pollen loads and their integration into modern food safety standards. In particular, the research focuses on: creating databases of the chemical profile of pollen of different botanical origins to ensure its identification and traceability; analyzing the impact of agroecological factors (climate change, land use, environmental pollution) on the quality and safety of pollen; developing methods for controlling contaminants (pesticides, heavy metals, mycotoxins) in beekeeping products; evaluating the antioxidant activity and nutritional value of pollen as a functional ingredient in food systems; and harmonizing international standards to ensure safe trade and the use of pollen in global food chains. Thus, our studies are aimed at forming a scientifically grounded basis for the integration of pollen into next-generation food systems that combine human health, ecological responsibility, and innovative approaches to the use of natural resources.

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).