

MODERN APPROACHES AND PROSPECTS OF COMBINED METHODS FOR LEGUME PROCESSING

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ КОМБІНОВАНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ БОБОВИХ КУЛЬТУР

Yevheniia Chebanenko¹

Oksana Melnyk²

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-672-0-6>

Глобальна харчова індустрія активно шукає замітники тваринного білка, серед яких бобові культури займають основне місце завдяки високому вмісту незамінних амінокислот та екологічній стійкості виробництва. Проте масове використання бобів у створенні корисних та функціональних продуктів, зокрема для дитячого та дієтичного меню, обмежується вмістом антинутриєнтів, які блокують роботу шлунку, пригнічуючи активність травних ферментів і перешкоджають повноцінному засвоєнню білків та мінеральних речовин, знижуючи загальну біологічну доступністьнутриєнтів. Традиційні методи обробки бобових, хоча й руйнують частину отруйних сполук, нерідко призводять до надмірного пошкодження структури самих поживних елементів. Дослідження підтверджують, що застосування сучаснихощадливих електричних методів обробки дозволяє досягти оптимального балансу між глибокою інактивацією антипоживних чинників та максимальним збереженням природного амінокислотного складу білків [1, 2].

Перспективним методом обробки бобових є комбінація інфрачервоного нагріву з процесом екструзії. Інфрачервоне випромінювання діє вибірково, збуджуючи молекули води та білків, що призводить до швидкого руйнування антипоживних чинників. Розрахунки підтверджують, що інфрачервона обробка з потужністю 15–20 кВт/м² знижує активність інгібіторів трипсину на 35–40% всього за 60–90 секунд [3]. Це також допомагає прибрати специфічний «бобовий» присмак, за який відповідає фермент ліпоксигеназа, роблячи смак продукту більш нейтральним. Подальша екструзійна обробка при температурі 120-150°C та тиску до 5 МПа дозволяє практично повністю інактивувати антинутриєнти (до 92,5–95,0%). Такий комбінований підхід

¹ Sumy National Agrarian University, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3867-4187>

² Sumy National Agrarian University, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9201-7955>

набагато ефективніший за звичайне варіння чи автоклавування (близько 80–85%) і потребує значно менших витрат часу [4].

В наукових джерелах зазначається, що спільна дія електрофізичних методів викликає глибоку структурну перебудову макромолекул білка. Через високий тиск та нагрівання щільно згорнуті молекули білка розгортаються. При цьому їхня внутрішня структура змінюється (збільшується кількість так званих β -шарів), що робить білок «відкритим». Завдяки цьому травним ферментам значно легше дістатися до зв'язків між амінокислотами та швидше їх розщепити. В дослідженнях можна побачити, що результати моделювання процесу травлення *in vitro* підтверджують значне підвищення біодоступності протеїнів: коефіцієнт засвоєння зростає з початкових 65–68% для сирової сировини до 84–88% після комбінованого впливу [2, 3].

Паралельно з покращенням нутритивного профілю, електрофізична дія радикально змінює технологічний потенціал сировини. Зокрема, спостерігається інтенсивне зростання жирутримувальної здатності на 150–200%, що зумовлено денатураційними змінами та збільшенням кількості вільних гідрофобних груп білка. Таке зростання функціональності дозволяє використовувати отримані концентрати як високоефективні структуроутворювачі та емульгатори у складі м'ясних аналогів, веганських продуктів та спеціалізованих харчових систем [5].

Крім того, модифікація структури білків за допомогою електрофізичних методів відкриває перспективи для створення персоналізованих нутрієнтів. Можливість прогнозувати швидкість вивільнення амінокислот шляхом зміни параметрів екструзії дозволяє проектувати продукти з заданим глікемічним та інсуліновим відгуком. Це має особливе значення для розробки спеціалізованого харчування для спортсменів, людей похилого віку та пацієнтів з метаболічними розладами.

Варто також підкреслити екологічну доцільність впровадження комбінованих методів. Порівняно з традиційним автоклавуванням, поєднання інфрачервоного нагріву та екструзії характеризується мінімальним рівнем відходів та суттєвим скороченням витрат енергії. Такий підхід відповідає глобальним цілям сталого розвитку, дозволяючи трансформувати локальну сировину у високоякісний білок з мінімальним екологічним слідом.

Окремим аспектом актуальності комбінованих методів є питання менеджменту якості та безпеки. Впровадження інноваційних технологій потребує адаптації систем контролю до специфіки високотехнологічних процесів переробки. Аналіз критичних точок контролю при екструзуванні дозволяє мінімізувати ризики утворення небажаних продуктів реакції

Майяра при збереженні вітального складу амінокислот, де дефіцитними часто залишаються лише сірковмісні сполуки з показником 65–72% [4]. Таким чином, перехід від монотехнологій до інтегрованих методів обробки бобових культур є ключовим фактором створення нутрієнтів нового покоління, що відповідають вимогам концепції сталого розвитку та персоналізованої нутриціології.

Проведений аналіз наукової літератури підтверджує, що поєднання інфрачервоного нагрівання та екструзійної обробки є високоефективним інструментом біотехнологічної модифікації бобових. Такий інтегрований підхід дозволяє не лише забезпечити глибоку інактивацію антипоживних чинників, а й цілеспрямовано змінювати структуру білків для підвищення їхньої засвоюваності та покращення техно-функціональних властивостей. Отримані результати відкривають широкі перспективи для створення збалансованих продуктів харчування з прогнозованою біологічною цінністю, що є критично важливим для забезпечення продовольчої безпеки та здоров'я населення.

Практична реалізація запропонованої технології відкриває шлях до створення в майбутньому широкої лінійки продуктів з високою ринковою цінністю. Отримані білкові концентрати з покращеною жиротримувальною здатністю можуть виступати базовою основою для гібридних м'ясних виробів, де часткова заміна тваринної сировини рослинною не призводить до втрати соковитості чи погіршення органолептичних показників. Це дозволяє суттєво знизити собівартість готової продукції, одночасно підвищуючи її дієтичну цінність за рахунок збагачення харчовими волокнами та зниження вмісту холестерину.

Подальші дослідження у цьому напрямку мають бути зосереджені на оптимізації параметрів електрофізичного впливу для різних видів бобових культур, враховуючи їхні сортові особливості та початковий вміст фітинових сполук. Розробка математичних моделей, що описують взаємозв'язок між інтенсивністю інфрачервоного опромінення та динамікою інактивації антинутриєнтів, дозволить автоматизувати процеси переробки. Такий підхід забезпечить стабільну якість нутрієнтів нового покоління та сприятиме інтеграції інноваційних біотехнологічних рішень у сучасний агропромисловий комплекс.

Список використаних джерел:

1. Jimenez-Lopez, J. C.; Singh, K. B.; Clemente, A.; Nelson, M. N.; Ochatt, S.; Smith, P. M. C. (2020). Editorial: Legumes for Global Food Security. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00926>
2. Ruiz-Zambrano, N. L.; Pérez-Carrillo, E.; Serna-Saldívar, S. O.; Tejada-Ortigoza, V. (2023). Effect of thermal, nonthermal, and combined treatments on

functional and nutritional properties of chickpeas. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64 (31), 11356–11374. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2237577>

3. Kang, S.; Zhang, J.; Guo, X.; Lei, Y.; Yang, M. (2022). Effects of ultrasonic treatment on the structure, functional properties of chickpea protein isolate and its digestibility in vitro. *Foods*, 11 (6), 880. <https://doi.org/10.3390/foods11060880>

4. Cargo-Froom, C. L.; Newkirk, R. W.; Marinangeli, C. P. F.; Shoveller, A. K.; Ai, Y.; Columbus, D. A. (2022). The effects of extrusion on nutrient content of Canadian pulses with a focus on protein and amino acids. *Canadian Journal of Animal Science*, 103 (1), 44–58. <https://doi.org/10.1139/cjas-2022-0088>

5. Saran, V.; Pavithra, R.; Koli, V.; Dattatrya, P. A.; Nikashini, T.; Ashika, R.; Gowda, N. A. N.; Sunil, C. K. (2024). Ultrasound modification of techno-functional, structural, and physico-chemical properties of legume proteins: A Review. *Food Bioscience*, 60, 104456. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104456>