

ОГЛЯД ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ БОБОВИХ КУЛЬТУР ТА ЇХ ВПЛИВ НА ХАРЧОВУ ЦІННІСТЬ І ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ

Чебаненко Євгенія Валеріївна

аспірант

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0009-0005-3867-4187

evgeniachebanenko@gmail.com

Мельник Оксана Юріївна

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-9201-7955

oksana.melnyk@snau.edu.ua

Дана стаття є оглядовою, в ній розглянуто різні методи обробки бобових культур, такі як ферментація, екструзія, обробка бобових високим тиском, ультразвукова обробка бобових, мікрохвильова обробка, а також імпульсні електромагнітні поля. Бобові відіграють дуже важливу роль в харчуванні людини, вони мають високий вміст білків, мінералів та вітамінів. Для здорового та раціонального харчування бобові є необхідними та важливими складовими раціону. Особливо це важливо в розрізі стрімкого росту населення планети і як наслідок необхідності забезпечення їжею всіх, зокрема продуктами з високим вмістом білку. Однак традиційні методи обробки займають багато часу та супроводжуються значними втратами поживних речовин. Тоді як інноваційні технології обробки бобових культур дають можливість знизити вміст антипоживних речовин, а також покращити органолептичні характеристики та функціональні властивості продуктів.

Проаналізувавши інноваційні методи обробки бобових можна зазначити, що їх використання дозволяє скоротити час термічної обробки, зберігаючи при цьому корисні складові, зокрема білки; знизити вміст фітатів та лектинів, що сприяє підвищенню поживної цінності та функціональності продуктів. Використання імпульсного електромагнітного поля дозволяє зберегти харчову цінність бобових без використання високих температур. Завдяки екструзії можна створювати високобілкові продукти, однак даний метод ще потребує оптимізації, тому що існує ризик денатурації білків та втрати амінокислот. Мікрохвильова обробка та обробка високим тиском сприяють збереженню харчової цінності бобових та є важливими для досягнення цілей сталого розвитку в напрямку зменшення харчових втрат та підвищення ефективності виробничих процесів.

Провівши огляд інноваційних методів обробки бобових, можна зробити висновок, що подальші дослідження та їх впровадження в харчову промисловість, є актуальними та необхідними, особливо з врахуванням екологічної стійкості та економічної ефективності харчового виробництва.

Ключові слова: бобові, обробки, поживна цінність, біодоступність, ферментація, ультразвук, високий тиск, екструзія, електромагнітні поля, мікрохвильова обробка, функціональні властивості, органолептичні властивості.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.4.10>

Вступ. Сучасна харчова промисловість зараз стикається з значною кількістю викликів, котрі пов'язані з забезпеченням населення поживними та якісними продуктами (Saran et al., 2024; Ruiz-Zambrano et al., 2023). Бобові відіграють важливу роль в харчуванні людини та у забезпеченні продовольчої безпеки завдяки тому, що багаті на вміст білка, клітковини, вітамінів та мінеральних речовин (Bender et al., 2024; Alajaji & El-Adawy, 2006). Однак, традиційні методи обробки бобових, наприклад, варіння та замочування, займають багато часу і супроводжуються значними втратами поживних речовин (Bhargava et al., 2021; Ullo et al., 2015).

З огляду на популярність бобових та їх роль у раціоні людини, пошук нових способів їх обробки є важливим та необхідним завданням, як для наукової спільноти, так і для багатьох виробників (Perucini-Avenidaño et al., 2024). Саме тому інноваційні методи обробки бобових дають можливість розширити асортимент продуктів та страв

з бобових, а також покращити їх споживчі характеристики, органолептичні показники, підвищити засвоюваність та зменшити кількість антипоживних речовин, тому, на нашу думку, дана тема є надзвичайно актуальною (Yeasmin et al., 2024).

Не зважаючи на високий потенціал бобових, їх широке використання у виробництві продуктів харчування зіштовхується з певними викликами. По-перше, це традиційні методи обробки, замочування і варіння, котрі супроводжуються значними втратами біологічно активних речовин, таких як вітаміни та антиоксиданти (Liu et al., 2020). По-друге, обробка бобових традиційними методами є енергозатратною та затратною за часом, що підвищує витрати на виробництво та обмежує доступність цих продуктів для масового споживача (Han et al., 2021). Як наслідок, це знижує кінцеву харчову цінність продуктів на основі бобових (Aziznia et al., 2024). Також важливо зазначити, що бобові містять антипоживні речовини,

такі як фітати, інгібітори протеолізу та лектини, через які знижується біодоступність важливих мікроелементів, що є в бобових, та ускладнюється процес їх перетравлення (Kang et al., 2022). Отже, ефективна деактивація даних речовин є важливою задачею у виробництві продуктів з бобових (Wang et al., 2020).

Мета даної роботи є систематизація та узагальнення наукових даних щодо інноваційних технологій обробки бобових культур (Rizzello et al., 2015). Основним завданням є аналіз впливу сучасних методів обробки на поживні властивості, функціональні характеристики та органолептичні показники кінцевих продуктів (Limón et al., 2015). Також робота має на меті виявити переваги та недоліки кожної з технологій (Senanayake et al., 2023) для удосконалення методів обробки бобових з метою підвищення їх споживчих характеристик.

Аналіз досліджень та публікацій. Останнім часом спостерігається помітне зростання інтересу до бобових, як до важливого джерела білку, а також як культур, що не лише мають високу поживну цінність, а й стійкі при вирощуванні (Garrido-Galand et al., 2023). Це одна з основних причин спрямування наукових досліджень на пошук нових методів обробки бобових, котрі дозволять зберегти максимальну кількість поживних елементів, харчових властивостей та скоротити час на приготування (Senanayake et al., 2023). Сучасні публікації охоплюють великий спектр інноваційних технологій, і, звичайно, кожна з них має свої переваги та недоліки, що викликає необхідність до порівняльного аналізу (Barba et al., 2015).

Одним з найбільш перспективних методів обробки бобових є ультразвукова технологія (Jayamkondan et al., 1999). Ультразвукова обробка дозволяє зменшити час термічної обробки, а також зменшити втрати поживних речовин, особливо білків та вітамінів (Martínez et al., 2020). Дослідники наголошують на тому, що під дією ультразвукових хвиль відбувається руйнування клітинних структур бобових культур, що покращує їх характеристики, а також сприяє екстракції поживних речовин (Wiley & Sons, 2007). Дана технологія суттєво знижує вміст фітатів та інгібіторів протеолізу, що підвищує біодоступність білків і мінералів (Alonso et al., 2000). Однак результати деяких досліджень показують, що інтенсивне використання ультразвукової обробки призводить до часткової денатурації білків і це потребує додаткових досліджень для визначення оптимальних умов та параметрів проведення процесу (Urbano et al., 2003). Ультразвукова обробка характеризується такими параметрами, як частота в діапазоні від 20 до 100 кГц, час обробки триває від 5 до 30 хвилин, а температура зазвичай залишається низькою або кімнатною, це сприяє збереженню поживних речовин.

Ферментація – це ще один поширений метод обробки бобових, котрий активно вивчається в наукових колах (Peugano et al., 2021). У дослідженнях ферментація розглядається, як досить ефективний спосіб для покращення смакових якостей бобових, а також зниженню вмісту тіаніну та лектину (Tas & Shah, 2021). Це процес важливий для покращення поживної цінності бобових та для зменшення ризиків алергічних реакцій

у чутливих груп населення (Bessada et al., 2019). Дослідження показали, що ферментація сприяє розкладанню складних вуглеводів, значний вміст яких часто викликає у людей проблеми з травленням (Rizzello et al., 2015), тому використання ферментованих бобових дозволить робити продукти більш доступними та лагідними для організму людини (Zuluaga et al., 2020). Також відомо, що ферментація дозволяє створювати продукти, які будуть мати підвищену кількість пробіотичних бактерій, які здатні позитивно впливати на мікрофлору кишечника (Sun et al., 2020). Метод ферментації проводять за температури від 25 °C до 37 °C, тривалість обробки від 12 годин до декількох днів, з використанням корисних бактерій, наприклад *Lactobacillus* spp. та *Bacillus* spp., що сприяє зниженню вмісту антипоживних речовин.

В останні роки проводиться все більше досліджень, які присвячені застосуванню імпульсних електромагнітних полів у технології обробки продуктів харчування (Mahalaxmi et al., 2022). У роботах показано, що даний метод дозволяє зберегти структуру білків та зменшити втрати вітамінів та мінералів під час обробки бобових (Mulla et al., 2022). Також дослідження показали, що імпульсні електромагнітні поля позитивно впливають на дезактивацію мікроорганізмів без використання хімічних добавок та високих температур, тому цей метод є екологічно чистим та безпечним (Sosa et al., 2019). Але в публікаціях звертається увага на доцільність подальшого дослідження впливу електромагнітних полів на властивості харчової сировини для визначення економічної доцільності даного методу та подальшого впровадження його в промислові процеси (Hall & Moragu, 2021). Обробку імпульсними електромагнітними полями проводять при напрузі від 5 кВ/см до 30 кВ/см, при цьому тривалість імпульсів складала кілька мікросекунд при частоті від 1 Гц до 10 Гц, що забезпечило збереження білків та мінералів без застосування термічного нагрівання.

На даний час екструзія залишається популярним методом обробки бобових в контексті високобілкових продуктів, таких як заміники м'яса та білкові батончики (Gharibzahedi & Smith, 2021). Дослідження показали, що екструзія забезпечує високу ступінь переробки білків та сприяє створенню нових текстурних властивостей продуктів, які є привабливими для споживачів (Semba et al., 2021). Але екструзійна обробка бобових також може призводити до термічної денатурації білків та негативно впливати на їх біодоступність (Foyer et al., 2016). Також екструзія супроводжується протіканням реакцій Майяра, в результаті якої може зменшуватися кількість корисних речовин, наприклад лізину, однак одночасно з цим відбувається покращення смаку та кольору продукту (Yanni et al., 2023). Науковці погоджуються з необхідністю проведення додаткових досліджень для оптимізації даного процесу, щоб мінімізувати втрати поживних речовин, а також одночасно покращити органолептичні властивості продуктів з бобових (Mudryj et al., 2014). Екструзія відбувається за температури від 100 °C до 180 °C, під тиском від 20 МПа до 30 МПа та при швидкості обертання гвинта від 100 об/хв

до 200 об/хв, це дозволяє створювати текстуровані продукти з високим вмістом білка.

На даний час у науковій літературі висвітлюються нові підходи до оброблення бобових, такі як застосування високого тиску, використання ферментних препаратів та мікрохвильова обробка. Обробка високим тиском дозволяє зберегти природні властивості бобових з незначними змінами в їхній структурі. Дослідження підтверджують, що обробка високим тиском зберігає більшу кількість поживних речовин, а особливо білків, вітамінів та мінеральних речовин, при цьому підвищуючи термін зберігання даних продуктів. Даний метод також ефективний для зниження рівня мікробіологічного забруднення без потреби в додаткових консервантах. Обробка високим тиском проводиться за умов від 400 МПа від 600 МПа при температурі від 20 °C до 50 °C, час обробки триває від 3 хвилин до 10 хвилин, це дозволяє зберегти поживні речовини та збільшити термін зберігання. Після обробки високим тиском бобові зберігають свою структуру, не втрачають органолептичних властивостей і стають більш привабливими для споживання. Отже, слід зазначити, що використання високого тиску для обробки бобових дозволяє створювати продукти для дієт, які мають високу поживну цінність та функціональні властивості.

Наступним методом оброблення бобових є мікрохвильова обробка, яка цікава тим, що значно скорочує час приготування та дозволяє зберегти більшу частину поживних речовин, особливо антиоксидантів та вітамінів. Дослідження показують, що мікрохвильова обробка дає можливість досягати рівномірного нагрівання зерен, при цьому зберігаючи їх структуру та поживні складові. Цей метод ефективний для збереження термочутливих біоактивних сполук, таких як флавоноїди та поліфеноли, котрі мають потужну антиоксидантну дію. Мікрохвильова обробка бобових здійснюється при частоті 2450 Гц, за температури від 70 °C до 120 °C, тривалість даної обробки становить від кількох секунд до кількох хвилин, що забезпечує ефективне нагрівання та збереження поживних речовин. На даний час мікрохвильова обробка вважається одним із найбільш енергоефективних методів термічної обробки бобових, що робить її досить перспективною для масового виробництва. Використання ферментів також є перспективним напрямом, що дозволяє підвищити біодоступність білків та знизити кількість антипоживних речовин. Однак дані методи та їх застосування потребують подальших досліджень для належної оцінки їхнього впливу на органолептичні властивості продуктів та можливості промислового впровадження.

Результати. Під час аналізу наукових джерел було встановлено, що інноваційні методи обробки бобових культур мають значний вплив на їхні поживні властивості, органолептичні показники, а також на функціональні характеристики (Hall et al., 2017). Використання ультразвукової обробки, ферментації, екструзії, імпульсних електромагнітних полів, високого тиску та мікрохвильової обробки дозволяє покращувати біодоступність поживних речовин бобових, а також зменшувати кількість антипоживних сполук та мінімізувати втрати білків, вітамінів

та мінералів. Можна відслідкувати, що ультразвукова та мікрохвильова обробка, зокрема, виявились ефективними для збереження термолабільних компонентів. Метод екструзії, хоча і перспективний у створенні текстурованих білкових продуктів, потребує оптимізації через можливу втрату амінокислот і утворення небажаних сполук.

Обговорення. Аналіз інноваційних методів обробки бобових демонструє, що кожен з них має свої переваги та недоліки, які необхідно враховувати при впровадженні у виробничі процеси (Yanni et al., 2023). Всі ці методи потребують додаткових досліджень для вивчення та розуміння процесів, які відбуваються в сировині під час обробки, дослідження параметрів та умов проведення оброблення для отримання оптимального результату. Ультразвукова обробка та мікрохвильова технологія ефективні для збереження поживної цінності, але можуть бути занадто дорогими для масового застосування (Singh et al., 2016). Екструзія показала великий потенціал у створенні продуктів з високим вмістом білка, однак з підвищеною втратою біологічно активних компонентів (Nemesek et al., 2008). Використання високого тиску та імпульсних електромагнітних полів може бути перспективним з точки зору екологічної стійкості, тому що ці методи дозволяють скоротити енергетичні витрати (Sá et al., 2021). Порівняння методів показує, що оптимальний вибір технології залежить від цілей виробництва та потреб ринку, тому необхідне подальше дослідження для інтеграції цих технологій з урахуванням економічної доцільності та стійкості (Kamani et al., 2023).

Висновок. На даний час питання здорового харчування стає більш актуальним в умовах стресів та екологічного стану навколишнього середовища, а бобові займають в ньому досить важливе місце. Завдяки своєму багатому складу та високій поживній цінності вони є відмінним джерелом рослинного білка, клітковини, вітамінів і мінералів. Проте ми бачимо, що традиційні методи їх обробки, такі як замочування та варіння, займають багато часу та є енергозатратними, а також призводять до значних втрат поживних речовин і це ускладнює їх широке використання в харчовій промисловості.

У даній роботі було розглянуто ряд інноваційних технологій, які можуть суттєво покращити обробку бобових. Серед них екструзія, обробка високим тиском, ультразвукова обробка, дія імпульсних електромагнітних полів та ферментація. Ми бачимо, що кожен із цих методів має свої переваги і недоліки, але в загальному їх використання має значний потенціал у збереженні біологічно активних речовин сировини, зменшенні часу на обробку та підвищенні органолептичних характеристик.

Але не дивлячись на позитивні результати, потрібно враховувати і недоліки, такі як денатурація білків під час обробки або втрата корисних речовин внаслідок термічних реакцій. Це демонструє необхідність подальших досліджень умов обробки бобових.

Також важливим фактором є економічна доцільність впровадження інноваційних методів у виробництво, визначення витрат на обробку та переваг, які можуть бути отримані завдяки підвищенню якості продукції. Ці

показники стануть ключовим фактором для виробників у прийнятті рішень.

Ми можемо зробити висновок, що інноваційні технології обробки бобових дають змогу не лише розширити асортимент продукції з бобових, а й підвищити їх якість та скоротити час приготування, що має велике значення. Тому подальші дослідження в цій галузі необхідні та

відкривають нові перспективи для використання бобових, що може позитивно вплинути на здоров'я населення та на продовольчу безпеку в цілому. Отже, важливо продовжувати вивчення нових технологій, щоб забезпечити доступність та різноманітність бобових у раціоні, що в свою чергу сприятиме зменшенню залежності від тваринних білків та підтримці екологічної стійкості харчових систем.

Бібліографічні посилання:

1. Saran, V., Pavithra, R., Koli, V., Dattatrya, P. A., Nikashini, T., Ashika, R., Nanje Gowda, N. A., & Sunil, C. K. (2024). Ultrasound modification of techno-functional, structural, and physico-chemical properties of legume proteins: A Review. *Food Bioscience*, 104456. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104456>
2. Ruiz-Zambrano, N. L., Pérez-Carrillo, E., Serna-Saldívar, S. O., & Tejada-Ortigoza, V. (2023). Effect of thermal, non-thermal, and combined treatments on functional and nutritional properties of chickpeas. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2237577>
3. Bender, D., Yamsaengsung, R., Waziirroh, E., Schoenlechner, R., & Jaeger, H. (2024). Effect of ultrasound-assisted soaking on the hydration kinetics and physicochemical properties of chickpeas. *International Journal of Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16916>
4. Alajaji, S. A., & El-Adawy, T. A. (2006). Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(8), 806–812. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.03.015>
5. Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
6. Ulloa, J. A., Enriquez López, K. V., Contreras Morales, Y. B., Rosas Ulloa, P., Ramírez Ramírez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. (2015). Effect of ultrasound treatment on the hydration kinetics and cooking times of dry beans (*Phaseolus vulgaris*). *CyTA – Journal of Food*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1024173>
7. Perucini-Avenidaño, M., Arzate-Vázquez, I., de Jesús Perea-Flores, M., Tapia-Maruri, D., Méndez-Méndez, J. V., Nicolás-García, M., & Dávila-Ortiz, G. (2024). Effect of cooking on structural changes in the common black bean (*phaseolus vulgaris* var. jamapa). *Heliyon*, Article e25620. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25620>
8. Yeasmin, F., Prasad, P., & Sahu, J. K. (2024). Effect of ultrasound on physicochemical, functional and antioxidant properties of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) proteins extract. *Food Bioscience*, 103599. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103599>
9. Liu, S., Yin, H., Pickard, M., & Ai, Y. (2020). Influence of infrared heating on the functional properties of processed lentil flours: A study focusing on tempering period and seed size. *Food Research International*, 136, 109568. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109568>
10. Han, L., Cao, S., Yu, Y., Xu, X., Cao, X., & Chen, W. (2021). Modification in physicochemical, structural and digestive properties of pea starch during heat-moisture process assisted by pre- and post-treatment of ultrasound. *Food Chemistry*, 360, 129929. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129929>
11. Aziznia, S., Askari, G., Emamdjomeh, Z., & Salami, M. (2024). Effect of ultrasonic assisted grafting on the structural and functional properties of mung bean protein isolate conjugated with maltodextrin through maillard reaction. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254, 127616. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127616>
12. 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>
13. Wang, Y., Wang, Y., Li, K., Bai, Y., Li, B., & Xu, W. (2020). Effect of high intensity ultrasound on physicochemical, interfacial and gel properties of chickpea protein isolate. *LWT*, 129, 109563. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109563>
14. Rizzello, C. G., Hernández-Ledesma, B., Fernández-Tomé, S., Curiel, J. A., Pinto, D., Marzani, B., Coda, R., & Gobetti, M. (2015). Italian legumes: Effect of sourdough fermentation on lunasin-like polypeptides. *Microbial Cell Factories*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12934-015-0358-6>
15. Limón, R. I., Peñas, E., Torino, M. I., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M., & Frias, J. (2015). Fermentation enhances the content of bioactive compounds in kidney bean extracts. *Food Chemistry*, 172, 343–352. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.084>
16. Senanayake, D., Torley, P. J., Chandrapala, J., & Terefe, N. S. (2023). Microbial fermentation for improving the sensory, nutritional and functional attributes of legumes. *Fermentation*, 9(7), 635. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070635>
17. Garrido-Galand, S., Asensio-Grau, A., Calvo-Lerma, J., Heredia, A., & Andrés, A. (2021). The potential of fermentation on nutritional and technological improvement of cereal and legume flours: A review. *Food Research International*, 145, 110398. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110398>
18. Barba, F. J., Parniakov, O., Pereira, S. A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., Saraiva, J. A., Raso, J., Martin-Belloso, O., Witrowa-Rajchert, D., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2015). Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*, 77, 773–798. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.015>
19. Jeyamkondan, S., Jayas, D. S., & Holley, R. A. (1999). Pulsed electric field processing of foods: A review. *Journal of Food Protection*, 62(9), 1088–1096. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-62.9.1088>
20. Martínez, J. M., Delso, C., Álvarez, I., & Raso, J. (2020). Pulsed electric field-assisted extraction of valuable compounds from microorganisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 530–552. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12512>

21. Advances in thermal and non-thermal food preservation. (2007). Wiley & Sons, Incorporated, John.
22. Alonso, R., Grant, G., Dewey, P., & Marzo, F. (2000). Nutritional assessment in vitro and in vivo of raw and extruded peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(6), 2286–2290. <https://doi.org/10.1021/jf000095o>
23. Urbano, G., Aranda, P., Gómez-Villalva, E., Frejnagel, S., Porres, J. M., Frías, J., Vidal-Valverde, C., & López-Jurado, M. (2003). Nutritional evaluation of pea (*Pisum sativum* L.) protein diets after mild hydrothermal treatment and with and without added phytase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2415–2420. <https://doi.org/10.1021/jf0209239>
24. Peyrano, F., de Lamballerie, M., Avanza, M. V., & Speroni, F. (2021). Gelation of cowpea proteins induced by high hydrostatic pressure. *Food Hydrocolloids*, 111, 106191. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106191>
25. Tas, A. A., & Shah, A. U. (2021). The replacement of cereals by legumes in extruded snack foods: Science, technology and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 701–711. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.016>
26. Bessada, S. M., Barreira, J. C., & Oliveira, M. B. P. (2019). Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.022>
27. Rizzello, C. G., Hernández-Ledesma, B., Fernández-Tomé, S., Curiel, J. A., Pinto, D., Marzani, B., Coda, R., & Gobetti, M. (2015). Italian legumes: Effect of sourdough fermentation on lunasin-like polypeptides. *Microbial Cell Factories*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12934-015-0358-6>
28. Zuluaga, A. M., Mena-García, A., Soria Monzón, A. C., Rada-Mendoza, M., Chito, D. M., Ruiz-Matute, A. I., & Sanz, M. L. (2020). Microwave assisted extraction of inositols for the valorization of legume by-products. *Lwt*, 133, 109971. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109971>
29. Sun, X., Ohanenye, I. C., Ahmed, T., & Udenigwe, C. C. (2020). Microwave treatment increased protein digestibility of pigeon pea (*Cajanus cajan*) flour: Elucidation of underlying mechanisms. *Food Chemistry*, 329, 127196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127196>
30. Mahalaxmi, S., Himashree, P., Malini, B., & Sunil, C. K. (2022). Effect of microwave treatment on the structural and functional properties of proteins in lentil flour. *Food Chemistry Advances*, 1, 100147. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100147>
31. Mulla, M. Z., Subramanian, P., & Dar, B. N. (2022). Functionalization of legume proteins using high pressure processing: Effect on technofunctional properties and digestibility of legume proteins. *Lwt*, 158, 113106. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113106>
32. Sosa, E. F., Thompson, C., Chaves, M. G., Acevedo, B. A., & Avanza, M. V. (2019). Legume seeds treated by high hydrostatic pressure: Effect on functional properties of flours. *Food and Bioprocess Technology*, 13(2), 323–340. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02386-9>
33. Hall, A. E., & Moraru, C. I. (2021). Structure and function of pea, lentil and faba bean proteins treated by high pressure processing and heat treatment. *Lwt*, 152, 112349. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112349>
34. Gharibzahedi, S. M. T., & Smith, B. (2021). Effects of high hydrostatic pressure on the quality and functionality of protein isolates, concentrates, and hydrolysates derived from pulse legumes: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 466–479. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.016>
35. Semba, R. D., Ramsing, R., Rahman, N., Kraemer, K., & Bloem, M. W. (2021). Legumes as a sustainable source of protein in human diets. *Global Food Security*, 28, 100520. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100520>
36. Foyer, C. H., Lam, H.-M., Nguyen, H. T., Siddique, K. H. M., Varshney, R. K., Colmer, T. D., Cowling, W., Bramley, H., Mori, T. A., Hodgson, J. M., Cooper, J. W., Miller, A. J., Kunert, K., Vorster, J., Cullis, C., Ozga, J. A., Wahlgvist, M. L., Liang, Y., Shou, H., ... Conside, M. J. (2016). Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. *Nature Plants*, 2(8). <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.112>
37. Yanni, A. E., Iakovidis, S., Vasilikopoulou, E., & Karathanos, V. T. (2023). Legumes: A vehicle for transition to sustainability. *Nutrients*, 16(1), 98. <https://doi.org/10.3390/nu16010098>
38. Mudryj, A. N., Yu, N., & Aukema, H. M. (2014). Nutritional and health benefits of pulses. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(11), 1197–1204. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0557>
39. Hall, C., Hillen, C., & Garden Robinson, J. (2017). Composition, nutritional value, and health benefits of pulses. *Cereal Chemistry Journal*, 94(1), 11–31. <https://doi.org/10.1094/cchem-03-16-0069-fi>
40. Singh, B., Singh, J. P., Shevkani, K., Singh, N., & Kaur, A. (2016). Bioactive constituents in pulses and their health benefits. *Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 858–870. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2391-9>
41. Nemecek, T., von Richthofen, J.-S., Dubois, G., Casta, P., Charles, R., & Pahl, H. (2008). Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 28(3), 380–393. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.11.004>
42. Sá, A. G. A., Silva, D. C. d., Pacheco, M. T. B., Moreno, Y. M. F., & Carciofi, B. A. M. (2021). Oilseed by-products as plant-based protein sources: Amino acid profile and digestibility. *Future Foods*, 3, 100023. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100023>
43. Kamani, M. H., Neji, C., Fitzsimons, S. M., Felon, M. A., & Murphy, E. G. (2023). Unlocking the nutritional and functional potential of legume waste to produce protein ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2184322>

Chebanenko Ye. V., graduate student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Melnyk O. Yu., PhD, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Review of innovative methods of legume processing and their impact on nutritional value and functional properties

This review article discusses various processing methods for pulses, including fermentation, extrusion, high-pressure processing, ultrasonication, microwave processing, and pulsed electromagnetic field processing. Pulses play an important

role in human nutrition due to their high content of proteins, minerals and vitamins. They are integral components of a healthy, balanced diet, which is especially important given the rapid growth of the world's population, which needs to be provided with high-protein foods. However, traditional processing methods are labor-intensive and often result in nutrient loss. In contrast, innovative pulse processing technologies reduce anti-nutritional factors while improving sensory and functional qualities.

Fermentation improves the digestibility of pulses by reducing phytates and tannins, increasing the bioavailability of minerals. Extrusion produces protein-rich products, but requires precise control to avoid nutrient loss. High-pressure processing extends the shelf life by preserving vitamins and minerals, making it valuable for ready-to-eat foods. Ultrasonication reduces cooking time and improves texture while retaining antioxidants. Microwaving reduces cooking time while helping to preserve vitamins such as folate and vitamin C.

Pulsed electromagnetic fields offer a non-thermal preservation method, extending shelf life and maintaining protein quality. The combination of these methods can further enhance the nutritional value of pulse-based products through a synergistic effect. In addition, these technologies support product diversification by enabling the development of pulse-based snacks, meat substitutes, and fortified products tailored to modern consumer preferences.

In general, innovative processing methods reduce heat treatment time, preserve proteins and reduce the content of anti-nutritional compounds such as phytates and lectins. They contribute to the achievement of sustainable development goals by reducing food waste and increasing production efficiency, while ensuring a stable supply of food with a high nutritional content.

Therefore, further research and industrialization of advanced pulse processing methods is crucial to ensure a balance between environmental sustainability and economic efficiency. These technologies have the potential to meet global food needs while minimizing resource use, reducing environmental impact, and contributing to the creation of high quality, healthy foods.

Key words: legumes, processing, nutritional value, bioavailability, fermentation, ultrasound, high pressure, extrusion, electromagnetic fields, microwave processing, functional properties, organoleptic properties.