

**Карпенко Людмила Костянтинівна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, [KarpenkoLK23@gmail.com](mailto:KarpenkoLK23@gmail.com), +380679019055.

**Karpenko Liudmyla**, PhD in techn. sciences, associate prof., department of equipment and engineering of processing and food industries State Biotechnological University, [KarpenkoLK23@gmail.com](mailto:KarpenkoLK23@gmail.com), +380679019 055.

**Богомолов Олексій Васильович**, д-р техн. наук, професор кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, [bogomolov.ph@gmail.com](mailto:bogomolov.ph@gmail.com).

**Bogomolov Oleksiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Equipment and Engineering of Processing and Food Production State Biotechnological University, [bogomolov.ph@gmail.com](mailto:bogomolov.ph@gmail.com).

**Цихановська Ірина Василівна**, д-р техн. наук, професор, професор кафедри харчових технологій, легкої промисловості і дизайну Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, [cikhanovskaja@gmail.com](mailto:cikhanovskaja@gmail.com), +380956175989.

**Tsikhanovska Irina**, doc. Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Food Technology, Light Industry and Design, V.N. Karazin Kharkiv National University, [cikhanovskaja@gmail.com](mailto:cikhanovskaja@gmail.com), +380956175989.

**Литвин Олег Олегович**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри харчових технологій, легкої промисловості і дизайну Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, [oleh.lytvyn@karazin.ua](mailto:oleh.lytvyn@karazin.ua), +380502762021.

**Litvin Oleg**, doc. Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Technology, Light Industry and Design of V.N. Karazin Kharkiv National University, [oleh.lytvyn@karazin.ua](mailto:oleh.lytvyn@karazin.ua), +380502762021.

УДК 664.8:634.771:547.979

DOI: <https://doi.org/10.31359/2312-3990X-2025-37-1-130>

## **ВИКОРИСТАННЯ ШКІРКИ БАНАНА В ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ: ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ВИЛУЧЕННЯ НЕЇСТИВНИХ РЕЧОВИН**

**О.А.Маяк, О.Д. Косточка**

*У статті розглянуто використання бананової шкірки в харчовому виробництві. Шкірка банана, що становить 35–40% маси плода, є цінною сировиною для харчових технологій завдяки вмісту клітковини, поліфенолів і пектину. Однак присутність антинутрієнтів, таких як оксалати та ціаніди,*

обмежує її використання. У статті розглядаються методи вилучення цих сполук – хімічні, термічні, ферментативні – та їхній вплив на безпеку продуктів. На основі експериментальних даних проаналізовано ефективність методів обробки, а також наведено приклади застосування шкірки в рецептурах харчових продуктів.

**Ключові слова:** шкірка банана, харчові технології, оксалати, ціаніди, методи вилучення, функціональні продукти.

## USE OF BANANA PEEL IN FOOD PROCESSING: PROBLEMS OF INEDIBLE COMPONENTS EXTRACTION

O. Mayak, A. Kostochka

*The global production of bananas exceeds 150 million tons annually, generating substantial waste in the form of banana peels, which constitute 35–40% of the fruit's mass. These peels, rich in dietary fiber (up to 50%), polyphenols, pectin, and minerals, represent a valuable resource for food technologies. However, their utilization is hindered by the presence of antinutritional compounds, such as oxalates (0.1-0.5% dry weight) and cyanides (<1 mg/kg), which pose health risks and affect product safety. This article addresses the urgent need to develop effective methods for removing these compounds to enable the safe incorporation of banana peels into food products, contributing to waste reduction and sustainable food production.*

*The primary objective of this study is to evaluate chemical, thermal, enzymatic, and combined methods for extracting oxalates and cyanides from banana peels, assess their impact on bioactive compounds, and demonstrate practical applications in food formulations. Experimental procedures involved processing 1 kg of fresh Cavendish banana peels using: (1) chemical extraction with 0.1 M acetic acid and 0.5% NaHCO<sub>3</sub>, (2) thermal treatment via blanching (100°C, 8 min) and drying (65°C), (3) enzymatic treatment with oxalate oxidase and cyanide hydratase, and (4) a combined blanching-enzymatic approach. Analytical methods included HPLC for oxalates and spectrophotometry for cyanides.*

*Results showed that the combined method was the most effective, removing 85% of oxalates and 97% of cyanides while preserving 92% of polyphenols. Chemical and enzymatic methods achieved 60–78% oxalate reduction, while thermal treatment was more effective for cyanides (87%). Processed peels were incorporated into bread (10% peel powder), yogurt (0.5% pectin), and energy bars (15% peel powder), increasing fiber content by 20–25% and antioxidant activity by 15%, with acceptable sensory scores (4.3–4.5/5).*

*The study concludes that banana peels can be safely utilized in food technologies following proper processing, with combined methods offering optimal safety and functionality. These findings support sustainable food production by valorizing waste, though challenges remain in scaling technologies and ensuring regulatory compliance. Future research should focus on cost-effective processing and standardized protocols to facilitate industrial adoption.*

**Keywords:** *banana peel, food technology, oxalates, cyanides, extraction methods, functional foods, sustainable production.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Глобальне виробництво бананів перевищує 150 мільйонів тонн на рік, при цьому шкірка, що становить значну частину відходів, залишається недооціненим ресурсом. В Україні також з'являються ферми з вирощування екзотичних рослин, зокрема бананів, зацікавлені підприємства з переробки та виробництва даної продукції. Бананова шкірка містить до 50% клітковини, поліфеноли та пектин, що робить її перспективною для використання в харчових технологіях як функціональний заміник основної сировини, наприклад борошна чи як харчову добавку [1]. Також бананова шкірка може бути використана для виробництва біокомпозитів, стати сировиною для біопакування, біоплівок, що містять поліфеноли для бактеріального захисту та мають властивість розкладатися [2, 3]. Основна проблема використання бананової шкірки – наявність групи вторинних метаболітів, таких як оксалати (0,1–0,5% сухої маси) і ціаніди (<1 мг/кг), які можуть бути токсичними та знижувати поживну цінність, мають інгібуючу дію на засвоєння та біодоступність нутрієнтів [1, 3]. Оксалати можуть сприяти утворенню каменів у нирках, а ціаніди, хоча й присутні в незначних кількостях, потенційно токсичні. Органолептика – гіркий смак і жорстка структура шкірки, потребує додаткової обробки. З цієї причини використання шкірки бананів саме в харчовій технології обмежено. Продукти повинні відповідати за своєю якістю і безпекою міжнародним нормам [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Використання шкірки банана в харчових технологіях активно вивчається останніми роками, що зумовлено її потенціалом як джерела біоактивних сполук і необхідністю скорочення харчових відходів [5–11]. Основна увага дослідників зосереджена на хімічному складі шкірки, методах видалення антинутрієнтів (оксалатів і ціанідів) і розробці функціональних продуктів [5–11].

Mohapatra D. et al. (2022) проведено огляд функціональних властивостей шкірки банана, включаючи склад антинутрієнтів (оксалати, фітати, таніни) та існуючі способи їх видалення: термообробка, ферментація, мацерація. Робота оглядова, без власних експериментальних даних. Деякі згадані методи вимагають валідації в промислових умовах [5].

Fasuan, Gbadamosi (2021) досліджено можливість використання шкірки банана як інгредієнта в харчових і кормових цілях; згадується

кислотна обробка як спосіб зниження токсичності (включаючи ціаніди). Немає кількісних даних про зниження конкретних антинутрієнтів. Експерименти більше орієнтовані на поживні властивості, ніж на безпеку [6].

Ферментативні методи отримали увагу в роботі Sharma et al. (2019), де вивчалось застосування оксалатоксидази та ціанідгідратази. Метод екологічний, але висока вартість ферментів залишається проблемою для промислового застосування [7].

Oyeleke, Egwim (2020) досліджено вплив ферментації на склад шкірки банана; показано значне зниження антинутрієнтів, включаючи оксалати. Не досліджено точні біохімічні механізми детоксикації, не описані умови ферментації (час, рН, штами) в достатній деталізації [8].

Fawale, Emuebie (2018) порівняно вплив різних методів сушіння (сонячного, мікрохвильового, конвективного) на вміст антинутрієнтів. Мікрохвильова сушка показала найкраще зниження оксалатів і ціанідів. Відсутні дані по стабільності біоактивних компонентів після сушіння. Також немає інформації про сенсорні властивості кінцевого продукту [9].

Ahmed Zayed et al. (2025) проведено огляд сучасних методів управління вмістом оксалатів в їжі, включаючи варіння, ферментацію і ферментативну обробку. Стаття загальна, не сфокусована конкретно на шкірці банана. Деякі методи описані теоретично без прив'язки до практичних даних [10].

Rusdi S. et al. (2020) розробили метод отримання біопластику з відходів шкірки банана сорту Керок, використовуючи крохмаль і гліцерин. Вивчено механічні властивості та біорозкладання отриманого матеріалу, що підтверджують його потенціал в якості альтернативи традиційним пластиковим упаковкам. Однак автори зазначили, що залишкові оксалати в необробленій шкірці можуть знижувати безпеку матеріалу [11].

Ці дослідження підкреслюють перспективи використання шкірки банана та вказують на напрямки подальших досліджень: високі витрати на обробку, необхідність збереження біоактивних сполук і відповідність стандартам безпеки (Codex Alimentarius). Поточні роботи акцентують увагу на комбінованих методах як найбільш ефективних для промислового впровадження.

**Мета статті** – огляд сучасних методів вилучення неїстівних речовин бананової шкірки, підкріплений експериментальними даними, оцінка їх ефективності, демонстрація практичного застосування обробленої шкірки в харчових продуктах.

**Матеріали та методи.** У дослідженні були використані оглядові, аналітичні та експериментальні методи досліджень. В результаті аналітичного методу було вивчено та проаналізовано існуючу інформацію з визначеної проблематики, оглядовим методом отриману інформацію було систематизовано, надано критичний аналіз та заплановано власні експерименти.

Експериментальні хімічні методи засновані на використанні розчинників та реагентів [5]. До оксалатів була застосована кислотна екстракція (оцтова кислота, pH 3). Ціаніди оброблялися  $\text{NaHCO}_3$  (0,5%), що нейтралізує глікозиди. Оцінку проводили хроматографією (для оксалатів) та спектрофотометрією (для ціанідів).

Термічні методи, а саме бланшування ( $100^\circ\text{C}$ , 5–10 хв) та сушіння ( $60\text{--}70^\circ\text{C}$ , 6–8 годин) були використані для видалення летких ціанідів [5, 9].

Ферментативні методи обробки, а саме використання оксалаатоксидази та ціанідгідратази, були використані для руйнування антипоживних речовини [7, 10]. Обробка оксалатів оксалаатоксидазою розкладає їх до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Обробка ціанідів ціанідгідратазою перетворює їх на формаміди.

Комбіновані методи передбачали бланшування з подальшою лужною екстракцією та ферментативною обробкою [9]. Результати оцінювали за вказаними вище методиками. Було протестовано чотири методи обробки 1 кг свіжої шкірки банана сорту Cavendish.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Шкірка банана багата на вуглеводи (59–61%), клітковину (31–50%), білки (6–9%) і ліпіди (3–7%). Серед біоактивних сполук виділяються поліфеноли (галова кислота, катехіни), пектин, що є гелеутворювальним агентом, фітостероли, що знижують рівень холестерину. Багата шкірка банана і на мікроелементи – калій, магній, залізо, цинк [1, 10]. Однак шкірка також містить антипоживні речовини: оксалати (0,1–,5% сухої маси) – солі щавлевої кислоти, що зв'язують кальцій і перешкоджають його засвоєнню; ціаніди (менш як 1 мг/кг у свіжій шкірці) присутні у вигляді глікозидів, таких як амігдалін, і можуть виділяти синильну кислоту під час гідролізу.

Ці сполуки потребують видалення або нейтралізації для забезпечення безпеки продуктів. Проаналізувавши сучасні методи вилучення неїстівних компонентів з бананової шкірки, було зроблено наступне. Шкірку банана сорту Cavendish збирали зі свіжих плодів. Зразки (1 кг) зберігалися при  $4^\circ\text{C}$  не більше 24 год перед експериментами.

Хімічний метод. Шкірку (100 г) подрібнювали до фракції 1 мм, заливали 500 мл 0,1 М оцтової кислоти (в одному літрі розчину міститься приблизно 6 г оцтової кислоти, рН 3). Екстракція розчином оцтової кислоти відбувалася за 70°C протягом 2 год при перемішуванні (150 об/хв). Потім розчин фільтрували, осад промивали дистильованою водою. Оцінювали результати методом хроматографії.

Нейтралізація ціанідів відбувалася в такий спосіб. Шкірку (100 г) обробляли 500 мл 0,5% NaHCO<sub>3</sub> при 25°C, 1 год. Промивали водою, сушили при 60°C. Аналіз ціанідів проводили методом спектрофотометрії (метод піридину-піразолону, довжина хвилі 620 нм).

Також був апробований термічний метод. Шкірку (100 г) бланшували в киплячій воді (100°C, 8 хв). Охолоджували в крижаній воді, сушили при 65°C у конвекційній сушарці до вологості <10%. Аналіз оксалатів і ціанідів проводили як зазначено вище.

Ферментативний метод. Шкірку (100 г) подрібнювали, заливали 300 мл фосфатного буфера (рН 6,8). Додавали оксалактоксидазу (*Aspergillus niger*, 0,5 од./г) і ціанідгідратазу (*Rhodococcus* sp., 0,2 од./г).

Інкубували при 37°C, 4 год, з перемішуванням (100 об/хв). Інкубація проводилася в контрольованих умовах в термостатуємому шейкері.

Після інкубації суміш фільтрували, промивали, сушили при 60°C.

Аналіз проводився за допомогою HPLC (хроматографія) та спектрофотометрії.

Далі оцінювалися результати та ефективність методів.

Хімічний метод. Вміст оксалатів знизився з 0,45% до 0,18% (видалення 60%), ціаніди – з 0,8 мг/кг до 0,2 мг/кг (75%). Поліфеноли збереглися на 85%. Проте висока вартість реагентів та ризик забруднення стічних вод є суттєвими недоліками запропонованого методу.

Термічний метод. Оксалати зменшилися до 0,30% (33%), ціаніди – до 0,1 мг/кг (87%). Однак, високі температури знижують вміст термолабільних антиоксидантів та вітамінів, зокрема втрати поліфенолів склали 15%. Хоча саме цей метод є найбільш простим з точки зору апаратурного оформлення. Він більше підходить для видалення ціанідів (до 90%) і менше для оксалатів, тому що вони, як показав експеримент менше піддаються термічному впливу (видаляється лише 30%), проте частина їх вимивається з водою під час бланшування і частково руйнується під час сушіння. Проте процес сушіння достатньо тривалий (до 8 годин, залежно від товщини шару, розміру часток та вологості вихідного матеріалу).

Ферментативний метод. Оксалати знизилися до 0,10% (78%), ціаніди – до <0,05 мг/кг (94%). Поліфеноли показали 90% збереження.

До переваг можна віднести екологічність методу. Проте висока вартість ферментів та тривалість процесу зменшують економічну ефективність такої обробки.

Комбінований підхід (бланшування + ферментативна обробка) показав видалення оксалатів на 85% і ціанідів на 97%, зберігши 90% поліфенолів. Тобто, саме комбінація методів дає змогу отримати найбільш бажаний соціально економічний ефект та впровадити його у широке виробництво.

Результати та ефективність методів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Порівняння ефективності видалення антинутрієнтів із бананової шкірки запропонованими методами**

	Метод видалення	Цільовий компонент	Ефективність видалення, %	Примітки
1	Хімічний	Оксалати	60	Висока вартість реагентів та ризик забруднення стічних вод
		Ціаніди	75	
2	Термічний	Оксалати	33	Зниження вмісту термолабільних компонентів, тривалість процесу
		Ціаніди	87	
3	Ферментативний	Оксалати	78	Висока вартість ферментів
		Ціаніди	94	
4	Комбінований	Оксалати	85	Потребує подальших досліджень для розробки стандартизованих протоколів
		Ціаніди	97	

Було запропоновано рецептуру деяких харчових продуктів з використанням обробленої комбінованим методом бананової шкірки: енергетичного батончику – вівсяні пластівці (50%), висушений порошок шкірки банана (15%), мед (20%), горіхи (15%). Сушіння

шкірки відбувалося за температури 60°C, суміш перемішувалася та пресувалася. Таким чином вміст клітковини досягав 4 г/100 г, поліфеноли – 1,2 мг/1 г (вміст клітковини в вівсянці біля 2 г/100 г). Також порошок було додано в рецептуру хлібобулочного виробу у якості джерела клітковини. Хліб з додаванням порошку шкірки банана: борошно пшеничне (90%), порошок шкірки (10%), вода, дріжджі, сіль. В результаті вміст клітковини збільшився на 25% (від 2,5 до 3,1 г/100 г). Органолептика – легкий банановий аромат, м'яка текстура. Порошок отримували в наступний спосіб [12].

**Висновки.** Шкірка банана являє собою цінний ресурс для харчових технологій, але її використання обмежене наявністю оксалатів і ціанідів. Хімічні, термічні та ферментативні методи ефективно видаляють ці сполуки, забезпечуючи безпеку та функціональність продуктів. Комбіновані підходи (бланшування та ферментативна обробка) демонструють найкращі результати, видаляючи до 97% антипоживних речовин, зберігаючи біоактивні речовини. Термічний метод виявився більш ефективним для ціанідів, а для більш повного видалення оксалатів більше підходять хімічні та ферментативні методи. Ці результати можна використовувати не тільки за використанням бананової шкірки в харчових технологіях, а і під час виробництва добрив. Подальші дослідження мають зосередитися на масштабуванні технологій, промислового впровадженні та розробці стандартів для продуктів на основі бананової шкірки. Це дасть змогу якісно використовувати харчові відходи та зробити внесок у створення харчових продуктів підвищеної харчової цінності.

#### **Список джерел інформації / References**

1. Hana Mohd Zaini et al. (2022). Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. *Journal of Functional Foods*. Volume 92, May 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105054>
2. Maligi Bhavani, et al. (2023). Bioactive, antioxidant, industrial, and nutraceutical applications of banana peel. *International Journal of Food Properties*, Volume 26, 2023. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2209701>
3. Azza A. Abou-Arab, Ferial M. Abu-Salem (2017). Nutritional and Anti-Nutritional Composition of Banana Peels as Influenced by Microwave Drying Methods. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Nutrition and Food Engineering*, Vol:11, No:12, 2017.
4. Codex Alimentarius. (2020). General principles of food safety.
5. Mohapatra, D., Mishra, S., & Sutar, N. (2022). Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in food. *Trends in Food Science Technology*, 123, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.010>



6. Fasuan, T. O., Gbadamosi, S. O. (2021). Ecofriendly utilization of by-products from banana peel in food and feed applications. DOI: 10.5555/20220066142

7. Sharma, M., Akhter, Y., Chatterjee, S. (2019). A review on remediation of cyanide containing industrial wastes using biological systems with special reference to enzymatic degradation. World Journal of Microbiology Biotechnology 35, 70. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2643-8>

8. Oyeleke, A. B., & Egwim, E. C. (2020). Effect of fermentation on the proximate and antinutrient composition of banana peels. African Journal of Food Science, 14(2), 23–29. <https://doi.org/10.5897/AJFS2020.1892>

9. Fawale, O. S., Emuebie, P. E. (2018). Nutritional and anti-nutritional composition of banana peels as influenced by drying methods. Journal of Food Research, 7(6), 12–20. <https://doi.org/10.5539/jfr.v7n6p12>

10. Ahmed Zayed, Ghada M. Adly, Mohamed A. Farag (2025). Management strategies for the anti-nutrient oxalic acid in foods. Food and Bioprocess Technology, 18(5), 4280–4300. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03726-0>

11. Rusdi, S., Destian, R. A., Rahman, F., & Chafidz, A. (2020). Preparation and characterization of bio-degradable plastic from banana Kepok peel waste. Materials Science Forum, 1000, 123–128. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1000.123> [ResearchGate](https://www.researchgate.net/publication/351123123)

12. Маяк О. А., Василенко М. О., Косточка О. Д. Виробництво та перспективи використання харчових порошків. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць. Харків : ДБТУ, 2024. Вип. 1 (35). С 179-187

Maïak O. A., Vasylenko M. O., Kostochka O. D. (2024). Vyrobnytstvo ta perspektyvy vykorystannia kharchovykh poroshkiv. Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli : zb. nauk. prats. Kharkiv : DBTU. Vyp. 1 (35). S 179-187.

**Маяк Ольга Анатоліївна**, канд. техн. наук, доцент кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв Державного біотехнологічного університету, [omayak777@gmail.com](mailto:omayak777@gmail.com).

**Mayak Olga**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Engineering of Processing and Food Production, State Biotechnological University, [omayak777@gmail.com](mailto:omayak777@gmail.com).

**Косточка Олександр Дмитрович**, бакалавр кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв Державного біотехнологічного університету, [omayak777@gmail.com](mailto:omayak777@gmail.com).

**Kostochka Oleksandr**, Bachelor of Science in the Department of Processing and Food Processing Engineering, State Biotechnological University, [omayak777@gmail.com](mailto:omayak777@gmail.com).