

ХАРЧОВА БЕЗПЕКА ТА ЕКСПЕРТИЗА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

УДК 633.1:632.4:579:664.7

DOI <https://doi.org/10.31359/2312.3990.2026.39.1.121>

МІКРОБІОЛОГІЧНІ ЗАХВОРЮВАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ТА ЇХ РОЛЬ У ФОРМУВАННІ ЯКОСТІ Й БЕЗПЕЧНОСТІ ЗЕРНА

Т.В. Гавриш, Н.О. Боровікова, І.М. Фоміна

*У статті узагальнено сучасні наукові підходи до дослідження мікробіологічних захворювань зернових культур та їх впливу на формування якості й безпечності зерна. Проаналізовано роль фітопатогенних і сапрофітних мікроорганізмів у процесах ураження зерна на різних етапах – від вегетації до зберігання. Розглянуто основні групи мікроорганізмів, зокрема гриби родів *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, що здатні продукувати мікотоксини. Висвітлено сучасні методи виявлення мікрофлори зерна, включаючи класичні мікробіологічні, молекулярно-генетичні, імунологічні та метагеномні підходи. Особливу увагу приділено небезпечності мікотоксинів, їх стійкості до технологічної обробки та впливу на здоров'я людини і тварин. Проаналізовано сучасні технології контролю мікробної контамінації зерна, зокрема сушіння, озонування, іонізуюче випромінювання, холодну плазму та використання органічних кислот. Обґрунтовано доцільність застосування інтегрованого підходу до забезпечення мікробіологічної безпечності зернової сировини.*

Ключові слова: зернові культури, мікробіологічні захворювання, мікрофлора зерна, мікотоксини, фузаріоз, безпечність зерна, якість зерна, мікробіом, методи контролю.

MICROBIOLOGICAL DISEASES OF CEREAL CROPS AND THEIR ROLE IN THE FORMATION OF GRAIN QUALITY AND SAFETY

T. Gavrish, N. Borovikova, I. Fomina

The article summarizes current scientific approaches to the study of microbiological diseases of cereal crops and their role in the formation of grain quality and safety. Grain crops represent a fundamental component of global food security, and their quality is significantly influenced by microbiological factors throughout the entire production chain. The study focuses on the complex interaction between phytopathogenic and saprophytic microorganisms, which determine both the

biological condition of plants during vegetation and the preservation of grain during storage.

*Special attention is given to fungal pathogens belonging to the genera *Fusarium*, *Aspergillus*, and *Penicillium*, which are among the most significant agents of grain contamination. These microorganisms not only cause plant diseases such as *Fusarium* head blight but also produce mycotoxins—highly toxic secondary metabolites that pose serious risks to human and animal health. The most common mycotoxins found in cereals include deoxynivalenol (DON), zearalenone, aflatoxins, ochratoxin A, and fumonisins. These compounds are characterized by high thermal stability and resistance to conventional technological processing, making them particularly dangerous contaminants in food and feed chains.*

The paper analyzes modern methods for detecting grain microflora, including classical microbiological techniques based on culturing on selective media, as well as advanced approaches such as polymerase chain reaction (PCR), real-time PCR, enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA), and next-generation sequencing (NGS). These methods enable accurate identification, quantification, and characterization of microbial communities and toxigenic strains, thus providing a comprehensive understanding of the grain microbiome as a dynamic ecological system.

In addition, the study examines the hazardous effects of microbial development in grain mass, emphasizing the toxicological impact of mycotoxins, including their immunosuppressive, carcinogenic, mutagenic, and hepatotoxic properties. The synergistic effects of multiple mycotoxins are also highlighted as a critical factor that increases overall toxicity and complicates risk assessment.

The article further reviews contemporary and перспективні methods for controlling microbial contamination in grain. These include traditional approaches such as chemical pesticides and drying, as well as innovative technologies like ozonation, ionizing irradiation, cold plasma treatment, pulsed ultraviolet light, and the application of organic acids. Each method is evaluated in terms of its effectiveness, advantages, and limitations, particularly regarding its impact on grain quality and environmental safety.

The findings demonstrate that no single method can ensure complete microbial safety of grain. Therefore, the implementation of an integrated control system that combines physical, chemical, and biotechnological approaches is considered the most effective strategy. Such an approach allows minimizing microbial risks while maintaining high quality and safety standards of grain products. The results of this study can be used to improve monitoring systems and develop advanced technologies for grain preservation and processing.

Keywords: *cereal crops, microbiological diseases, grain microflora, mycotoxins, fusarium, grain safety, grain quality, microbiome, control methods.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Зернові культури є стратегічною основою продовольчої безпеки більшості країн світу, зокрема України, яка належить до провідних експортерів зерна. У сучасних умовах інтенсифікації агровиробництва, глобальних

кліматичних змін та зростання вимог до якості продукції особливої актуальності набуває проблема мікробіологічного ураження зерна.

Формування врожаю та його якісних показників відбувається під впливом комплексу біотичних факторів, серед яких провідне місце займають мікроорганізми – як фітопатогенні, так і сапрофітні. Фітопатогенні мікроорганізми викликають інфекційні захворювання рослин ще на етапі вегетації, тоді як сапрофітна мікрофлора активно розвивається під час зберігання, спричиняючи псування зерна.

Особливу небезпеку становлять мікроскопічні гриби родів *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, які здатні продукувати мікотоксини – вторинні метаболіти з високою токсичністю. Наявність мікотоксинів у зерні значно знижує його продовольчу та кормову цінність, а також створює ризики для здоров'я людини і тварин.

У зв'язку з цим проблема мікробіологічних захворювань зернових культур має комплексний характер і потребує інтегрованого підходу до її дослідження з урахуванням як біологічних, так і технологічних прийомів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останніх десятиліть значна увага приділяється дослідженню етіології та патогенезу мікробіологічних захворювань зернових культур. Встановлено, що одним із найпоширеніших і найнебезпечніших захворювань є фузаріоз колосу, збудниками якого виступають гриби роду *Fusarium* [1].

Згідно з даними міжнародних досліджень, фузаріоз супроводжується накопиченням дезоксініваленолу (DON), зеараленону та інших мікотоксинів, які є стійкими до технологічної обробки [2]. Встановлено, що DON виконує не лише токсичну функцію, але бере участь у механізмах патогенності, що призводить до проникнення гриба в тканини рослини [3].

Поряд із цим значний інтерес викликають дослідження сапрофітної мікрофлори зерна. Показано, що під час зберігання зерна за підвищеної вологості відбувається інтенсивний розвиток пліснявих грибів, що призводить до самозігрівання зернової маси та погіршення її якості [4].

Сучасні роботи також фокусують увагу на ролі мікробіому зерна як складної екологічної системи, в якій відбувається взаємодія між різними групами мікроорганізмів [5]. Встановлено, що сапрофітні мікроорганізми можуть як пригнічувати розвиток патогенів, так і створювати умови для їх активізації.

Активно розвиваються біотехнологічні підходи до контролю мікробних захворювань, зокрема використання антагоністичних бактерій (*Bacillus*, *Pseudomonas*) та молекулярних методів діагностики [6].

Разом з тим, недостатньо вивченими залишаються питання комплексного впливу мікробних консорціумів на формування якості зерна, а також механізми взаємодії сапрофітної і патогенної мікрофлори під час зберігання.

Метою статті є узагальнення сучасних наукових підходів до вивчення мікробіологічних захворювань зернових культур, аналіз ролі сапрофітних і фітопатогенних мікроорганізмів у формуванні якості та безпечності зерна, а також систематизація сучасних способів контролю мікробної контамінації зернової сировини.

Дослідження базується на системному аналізі сучасних наукових джерел, що висвітлюють мікробіологічні особливості формування якості та безпечності зернових культур. Особливу увагу приділено методам виявлення, ідентифікації та кількісної оцінки мікрофлори зерна.

Матеріали та методи. Сучасні підходи до виявлення мікроорганізмів у зерні включають комплекс класичних та інноваційних методів, що дозволяють отримати як якісну, так і кількісну характеристику мікробного контамінування.

Класичні мікробіологічні методи передбачають висів проб зерна на поживні середовища (агар Чапека, Сабуро, картопляно-декстрозний агар) з подальшою інкубацією та ідентифікацією колоній за морфологічними та культуральними ознаками [7]. Даний підхід дозволяє визначити життєздатну мікрофлору, однак є тривалим і не завжди забезпечує точну видову ідентифікацію.

Мікроскопічні методи включають пряме мікроскопування зерна та фарбування препаратів, що дозволяє виявити структури грибів (гіфи, спори) без культивування. Це особливо важливо для діагностики латентних інфекцій.

Молекулярно-генетичні методи, зокрема полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР), забезпечують високу чутливість і специфічність ідентифікації мікроорганізмів, включаючи токсигенні штами. Використання *real-time* PCR дозволяє не лише виявляти, але й кількісно оцінювати рівень контамінації [8].

Метагеномні підходи та секвенування нового покоління (NGS) дають змогу досліджувати структуру мікробіому зерна як цілісної екосистеми, що особливо важливо для розуміння взаємодії між сапрофітними та патогенними мікроорганізмами [5].

Імунологічні методи (ELISA) широко застосовуються для швидкого скринінгу мікотоксинів та окремих мікроорганізмів, що мають важливе значення для контролю безпечності зерна.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розвиток мікроорганізмів у зерновій масі становить серйозну загрозу не лише для якості продукції, але для здоров'я людини і тварин. Особливо небезпечними є мікроскопічні гриби, здатні продукувати мікотоксини – вторинні метаболіти з високою біологічною активністю.

Найбільш поширеними мікотоксинами у зерні є дезоксиніваленол (DON), зearаленон, афлатоксини, охратоксин А, фумонізани [2].

Мікотоксини характеризуються високою термостійкістю і не руйнуються під час звичайної технологічної переробки зерна, включаючи лушення, помел і термічну обробку. Вони здатні накопичуватися в організмі людини і тварин та викликати широкий спектр токсичних ефектів: імунодепресію, гепатотоксичність, канцерогенну та мутагенну дію.

Зокрема, афлатоксини, що продукуються грибами роду *Aspergillus*, є одними з найпотужніших природних канцерогенів. Охратоксин А має нефротоксичну дію, а фумонізани пов'язані з розвитком онкологічних захворювань [2].

Дезоксиніваленол (DON) не лише викликає токсичні ефекти (блювання, зниження апетиту), але відіграє роль у перебігу хвороби фузаріоз, сприяючи поширенню гриба в тканинах рослини [3].

Особливу небезпеку становить комбінована дія кількох мікотоксинів, що може мати синергічний ефект і значно посилювати токсичність.

У сучасних умовах контроль мікробіологічної безпечності зерна базується на поєднанні традиційних та інноваційних технологій, що дозволяє забезпечити комплексний вплив на мікробну контамінацію на різних етапах виробництва, зберігання та переробки. Такий підхід є необхідним з огляду на складність мікробних угруповань зерна та їх здатність адаптуватися до змін умов середовища, що зумовлює потребу у використанні підходів до зменшення мікробної контамінації.

Одним із найбільш поширених підходів залишаються хімічні методи, зокрема застосування пестицидів, серед яких важливе місце займають фунгіциди. Вони ефективно пригнічують розвиток фітопатогенних мікроорганізмів у польових умовах, що призводить до підвищення врожайності та покращення якісних показників зерна. Водночас інтенсивне використання пестицидів супроводжується

низкою негативних наслідків, серед яких забруднення ґрунтів і водних ресурсів, зниження біорізноманіття агроєкосистем, а також формування стійких до дії препаратів популяцій мікроорганізмів [11–13]. У зв'язку з цим особливого значення набуває впровадження принципів інтегрованого захисту рослин, що передбачає раціональне поєднання хімічних, біологічних та агротехнічних заходів.

Важливим етапом забезпечення безпечності зерна є післязбиральна обробка, зокрема сушіння, яке спрямоване на зниження вологості зернової маси до рівня, безпечного для тривалого зберігання. Зменшення вологості до показників нижче критичної суттєво обмежує розвиток мікроорганізмів, насамперед пліснявих грибів. Однак ефективність цього процесу значною мірою залежить від його рівномірності, оскільки наявність локальних зон із підвищеною вологістю може призводити до формування осередків мікробного розвитку, що супроводжується самозігріванням зернової маси та інтенсифікацією біохімічних процесів [4, 14].

Поряд із фізичними способами важливу роль відіграє механічне очищення зерна, зокрема видалення поверхневих оболонок. Враховуючи те, що основна частина мікроорганізмів локалізується саме на поверхні зернівки, застосування абразивних технологій дозволяє суттєво знизити рівень мікробного забруднення. За даними досліджень, видалення навіть незначної частини зовнішніх шарів зерна може зменшити мікробне навантаження на 80–90%, що є важливим фактором підвищення якості кінцевої продукції [15].

Серед сучасних фізико-хімічних способів контролю мікробної контамінації значної уваги заслуговує озонування, яке базується на використанні сильних окислювальних властивостей озону. Цей газ здатний руйнувати клітинні мембрани та внутрішньоклітинні структури мікроорганізмів, що призводить до їх інактивації. Важливою перевагою озону є його здатність швидко розкладатися до молекулярного кисню без утворення токсичних залишків, що робить його екологічно безпечним засобом дезінфекції зерна [16]. Водночас ефективність озонування залежить від таких факторів, як концентрація газу, температура та вологість середовища.

Іншим ефективним способом є застосування іонізуючого випромінювання, яке забезпечує інактивацію мікроорганізмів шляхом пошкодження їх генетичного матеріалу. Гамма-випромінювання, електронні пучки та рентгенівське опромінення здатні проникати в глибину зернової маси, забезпечуючи високу ефективність обробки. Разом із тим використання цього методу обмежується високою вартістю

обладнання, необхідністю суворого дотримання норм безпеки та регуляторних вимог [17].

Перспективним напрямом у технологіях знезараження та контролю мікробної контамінації зерна є використання холодної плазми, яка являє собою частково іонізований газ, що містить активні форми кисню та азоту. Ці компоненти мають виражену антимікробну дію, що спричиняють окислювальне пошкодження клітинних структур мікроорганізмів. Перевагою цього методу є його нетермічний характер, що дозволяє зберігати технологічні властивості зерна, а також відсутність шкідливих залишків після обробки [18].

Не менш ефективним є застосування імпульсного ультрафіолетового випромінювання, яке забезпечує швидку інактивацію мікроорганізмів шляхом порушення структури їх ДНК. Особливо ефективним є УФ-С діапазон, що має максимальну бактерицидну активність. Проте використання цього методу для зернових культур обмежується нерівною та шорсткою поверхнею зерна, яка ускладнює рівномірне проникнення випромінювання [19].

Додатково до фізичних і хімічних способів контролю мікробної контамінації широко застосовуються органічні кислоти, які виконують функцію консервантів. Зниження рН середовища пригнічує розвиток більшості мікроорганізмів, зокрема пліснявих грибів. Найчастіше використовуються пропіонова, сорбінова, оцтова та молочна кислоти або їх солі. Однак для досягнення вираженого антимікробного ефекту необхідні досить високі концентрації цих речовин, що може впливати на органолептичні та технологічні властивості зерна [20].

Висновки. Мікробіологічні захворювання зернових культур є багатофакторним явищем, що визначає як якість, так і безпечність зернової продукції. Встановлено, що головну роль відіграє взаємодія фітопатогенних і сапрофітних мікроорганізмів, яка формується як у польових умовах, так і під час зберігання.

Особливу небезпеку становлять мікотоксини, що мають високу токсичність, стійкість до обробки та здатність до біоаккумуляції. Їх наявність є критичним фактором ризику для харчової безпеки.

Сучасні способи контролю мікробіологічної контамінації зерна дозволяють ефективно знижувати мікробне навантаження, однак жоден із них не є універсальним. Найбільш перспективним є інтегрований підхід, що поєднує фізичні, хімічні та біотехнологічні методи.

Список джерел інформації / References

1. Parry D. W., Jenkinson P., McLeod L. Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals – a review. *Plant Pathology*. 1995. Vol. 44, № 2. P. 207–238. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02773.x>
2. Bennett J. W., Klich M. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*. 2003. Vol. 16, № 3. P. 497–516. DOI: <https://doi.org/10.1128/CMR.16.3.497-516.2003>
3. Audenaert K., Vanheule A., Höfte M., Haesaert G. Deoxynivalenol: a major player in the multifaceted response of *Fusarium* to its environment. *Molecular Plant Pathology*. 2014. Vol. 15, № 1. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1111/mpp.12112>
4. Magan N., Aldred D. Post-harvest control strategies: minimizing mycotoxins in the food chain. *Food Control*. 2007. Vol. 18, № 4. P. 362–369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.10.008>
5. Berg G., Rybakova D., Fischer D. et al. Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*. 2020. Vol. 8. Article 103. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00875-y>
6. Pal K. K., McSpadden Gardener B. Biological control of plant pathogens. *Crop Protection*. 2006. Vol. 25, № 2. P. 155–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.05.011>
7. Pitt J. I., Hocking A. D. *Fungi and Food Spoilage*. 3rd ed. New York: Springer, 2009. 519 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-92207-2>
8. Nicolaisen M., Suproniene S., Nielsen L. K. et al. Real-time PCR for quantification of eleven individual *Fusarium* species in cereals. *International Journal of Food Microbiology*. 2009. Vol. 135, № 3. P. 275–284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.08.016>
9. Shephard G. S. Current status of mycotoxin analysis: a critical review. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2016. Vol. 33, № 3. P. 394–410. DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1140632>
10. ISO 712:2009. Cereals and cereal products – Determination of moisture content — Reference method. Geneva: ISO, 2009.
11. Aktar M. W., Sengupta D., Chowdhury A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*. 2009. Vol. 2, № 1. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
12. Liu Y., Pan X., Li J. A 1961–2010 record of fertilizer use, pesticide application and cereal yields: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. Vol. 35. P. 83–93. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0259-9>
13. Jess S., Kildea S., Moody A. et al. European Union policy on pesticides: implications for agriculture. *Pest Management Science*. 2014. Vol. 70, № 1. P. 2–9. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3566>
14. Magan N., Aldred D. Managing microbial spoilage in cereal grains. In: *Stored Grain: Management and Challenges*. 2006. P. 59–78.
15. Dexter J. E., Wood P. J. Recent applications of pearling to processing of wheat. *Cereal Chemistry*. 1996. Vol. 73, № 2. P. 232–242.

Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі, 2026. Вип. 1 (39). ISSN: 2312-3990 (Print) 2519-2922 (Online)

16. O'Donnell C., Tiwari B. K., Cullen P. J., Rice R. G. Ozone in food processing. In: *Ozone in Food Processing*. Wiley-Blackwell, 2012. P. 1–30. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118307472>

17. Farkas J., Mohácsi-Farkas C. History and future of food irradiation. *Trends in Food Science & Technology*. 2011. Vol. 22, № 2–3. P. 121–126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.002>

18. Niemira B. A. Cold plasma decontamination of foods. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2012. Vol. 3. P. 125–142. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132>

19. Keklik N. M., Krishnamurthy K., Demirci A. Pulsed UV light in food processing. *Food Engineering Reviews*. 2012. Vol. 4. P. 93–111. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12393-012-9043-x>

20. Sabillon L., Stratton J., Rose D. J., Bianchini A. Reduction of microbial load in wheat by tempering with organic acids. *Journal of Food Protection*. 2016. Vol. 79, № 2. P. 260–266. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-320>

Гавриш Тетяна Володимирівна, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрою технології хлібопродуктів і кондитерських виробів, Державний біотехнологічний університет, gavrishtanya@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5461-8442>

Gavriș Tetyana, PhD technical of Sciences, associate professor, head department of technology of bread products and confectionery products, State Biotechnological University, gavrishtanya@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5461-8442>

Боровікова Наталія Олексіївна, ст. викладач, кафедра технології хлібопродуктів і кондитерських виробів, Державний біотехнологічний університет, nuklon@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5832-2211>

Borovikova Natalia, Art. Lecturer, Department of Bakery and Confectionery Technology, State Biotechnological University, nuklon@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5832-2211>

Фоміна Ірина Миколаївна к. т. н, доцент, Державний біотехнологічний університет, anirif@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2737-1496>

Fomina Iryna, PhD technical of Sciences, associate professor, Department of Bakery and Confectionery Technology, State Biotechnological University, anirif@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2737-1496>

Отримано: 05.04.2026. Прийнято: 23.04.2026. Опубліковано: 18.05.2026.