

УДК 664.66

ПІДХОДИ ДО ЗМЕНШЕННЯ ЧЕРСТВІННЯ ТА МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ПСУВАННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Білик О. А.¹, к.т.н., професор кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів
<https://orcid.org/0000-0003-3606-1254>

Богачов Ю. В.¹, здобувач III-го рівня вищої освіти
кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів
<https://orcid.org/0009-0001-6411-9890>

Капрельянц Л. В.², д.т.н., професор кафедри харчової хімії, експертизи та біотехнологій,
<https://orcid.org/0000-0002-6480-5890>

Бурченко Л. М.¹, доктор філософії,
доцент кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів
<https://orcid.org/0000-0002-5413-961X>

¹Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

²Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2026-26-10>

Надійшла 18.05.2026. Прийнята після рецензування 11.06.2026. Опублікована 30.06.2026
Ліцензія CC BY-NC-ND 4.0

Предмет. Хлібобулочні вироби належать до найбільш поширених продуктів харчування, однак термін їх зберігання обмежений швидкою втратою свіжості внаслідок фізико-хімічних і мікробіологічних процесів. Основними причинами погіршення якості під час зберігання є ретроградація крохмалю, перерозподіл вологи між м'якушкою та скоринкою, ущільнення м'якушки, а також мікробіологічне псування у формі плісняви та картопляної хвороби. У сучасних умовах особливої актуальності набуває розроблення технологічних рішень, спрямованих на подовження свіжості хлібобулочних виробів без погіршення їх споживчих властивостей, відповідно до концепції сталого розвитку та скорочення харчових втрат. **Мета.** Аналіз технологічних підходів до подовження свіжості хлібобулочних виробів та оцінювання механізмів дії функціональних інгредієнтів, харчових добавок, ферментних препаратів, технологічних параметрів і пакувальних технологій. **Методи.** Застосовано комплекс загальнонаукових методів дослідження: аналіз, синтез, узагальнення, систематизацію наукових даних і абстрактно-логічний підхід. **Результати.** Встановлено, що найбільш ефективні напрями подовження свіжості хлібобулочних виробів можна згрупувати за чотирма блоками. Щодо функціональних інгредієнтів та харчових добавок: гідроколіди (гуарова та ксантанова камеді, КМЦ, ГПМЦ, альгірати, пектини, модифіковані крохмалі) підвищують вологоутримувальну здатність і уповільнюють ретроградацію амілопектину; трегалоза та білкові гідролізати визначені як перспективні античерствильні агенти; емульгатори (DATEM, SSL, лецитин, моно- та дигліцериди) утворюють амілозо-ліпідні комплекси, що пригнічують ретроградацію крохмалю. Щодо ферментних препаратів: мальтогенна α -амілаза, ксиланаза, ліпаза/фосфоліпаза та трансглютамілаза зберігають м'якість м'якушки під час зберігання; синергетичні суміші ферментів перевершують за ефектом окремі препарати. Щодо технологічних заходів: тривала холодна ферментація, ферментовані напівфабрикати (спонж, пуліш), оптимізований температурний профіль випікання, технологія часткового випікання та пакування. Щодо мікробіологічного псування: пропіонат кальцію та сорбати залишаються основними хімічними консервантами; природні антимікробні агенти є альтернативою в концепції «clean label»; УФ-С-опромінення та холодна плазма – новітні нетеплові методи, що подовжують термін зберігання без погіршення сенсорних показників, повторна теплова обробка. **Сфера застосування результатів.** Результати можуть бути застосовані при розробленні хлібобулочних виробів із подовженим терміном збереження свіжості, проєктуванні ресурсоефективних технологічних рішень та перезатвердженні рецептур у напрямку концепції «clean label».

Ключові слова: хлібобулочні вироби, черствіння, ретроградація крохмалю, гідроколіди, ферментні препарати, емульгатори, пакування, свіжість хліба, харчові добавки, clean label, повторна теплова обробка

APPROACHES TO REDUCING STALING AND MICROBIOLOGICAL SPOILAGE OF BAKERY PRODUCTS

Olena Bilyk¹, PhD,

Professor Department of Bakery and Confectionary Goods Technology

<https://orcid.org/0000-0003-3606-1254>

Iurii Bogachov¹, Applicant for Higher Education

<https://orcid.org/0009-0001-6411-9890>

Leonid Kaprelyants², D-r of Sc., Engineering,

Professor of the Department of Food Chemistry, Expertise and Biotechnology,

<https://orcid.org/0000-0002-6480-5890>

Lyudmyla Burchenko¹, PhD,

Associate Professor Department of Bakery and Confectionary Goods Technology

<https://orcid.org/0000-0002-5413-961X>

¹National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

²Odesa National Technological University, Odesa, Ukraine

Subject. Bakery products are among the most common food products, but their shelf life is limited by the rapid loss of freshness due to physicochemical and microbiological processes. The main reasons for the deterioration of quality during storage are starch retrogradation, moisture redistribution between the crumb and crust, crumb compaction, as well as microbiological spoilage in the form of mold and potato disease. In modern conditions, the development of technological solutions aimed at extending the freshness of bakery products without deteriorating their consumer properties, in accordance with the concept of sustainable development and reducing food losses, is of particular relevance. **Purpose.** Analysis of technological approaches to extending the freshness of bakery products and evaluation of the mechanisms of action of functional ingredients, food additives, enzyme preparations, technological parameters and packaging technologies. **Methods.** A complex of general scientific research methods was applied: analysis, synthesis, generalization, systematization of scientific data and an abstract-logical approach. **Results.** It was found that the most effective directions for extending the freshness of bakery products can be grouped into four blocks. Regarding functional ingredients and food additives: hydrocolloids (guar and xanthan gums, CMC, HPMC, alginates, pectins, modified starches) increase moisture retention capacity and slow down amylopectin retrogradation; trehalose and protein hydrolysates are identified as promising anti-caking agents; emulsifiers (DATEM, SSL, lecithin, mono- and diglycerides) form amylose-lipid complexes that inhibit starch retrogradation. Regarding food additives: maltogenic α -amylase, xylanase, lipase/phospholipase and transglutaminase maintain crumb softness during storage; synergistic enzyme mixtures are superior in effect to individual preparations. Regarding technological measures: long cold fermentation, fermented semi-finished products (sponge, poolish), optimized baking temperature profile, partial baking and packaging technology. Regarding microbiological spoilage: calcium propionate and sorbates remain the main chemical preservatives; natural antimicrobial agents are an alternative in the “clean label” concept; UV-C irradiation and cold plasma are the latest non-thermal methods that extend the shelf life without deteriorating sensory parameters, repeated heat treatment. **Scope of results.** The results can be used in the development of bakery products with an extended shelf life, the design of resource-efficient technological solutions and the re-approval of recipes in the direction of the “clean label” concept.

Key words: bakery products, staling, starch retrogradation, hydrocolloids, enzyme preparations, emulsifiers, packaging, bread freshness, food additives, clean label, repeated heat treatment

Постановка проблеми. Хлібобулочні вироби належать до продуктів щоденного споживання та займають важливе місце у структурі харчування населення. Водночас однією з актуальних проблем хлібопекарської галузі є значні втрати продукції внаслідок швидкого черствіння та мікробіологічного псування виробів під час зберігання [1, 2]. За даними світових досліджень, хліб є одним із харчових продуктів, що найчастіше потрапляє до категорії харчових відходів через обмежений термін збереження свіжості, що спричиняє економічні збитки для виробників, торговельних мереж і споживачів, а також негативно впливає на екологічний стан довкілля [3].

Основними причинами зниження якості хлібобулочних виробів під час зберігання є ретроградація крохмалю, перерозподіл вологи між структурними компонентами виробу, ущільнення м'якушки, втрата еластичності та погіршення органолептичних показників [4]. Крім того, розвиток картопляної хвороби та пліснявіння значно скорочує термін придатності продукції та збільшує кількість непридатних до споживання виробів [5].

У сучасних умовах особливої актуальності набуває пошук технологічних рішень, спрямованих на подовження свіжості хлібобулочних виробів без погіршення їх споживчих властивостей та безпечності. Одним із перспективних напрямів є використання інноваційних інгредієнтів, харчових добавок, нетрадиційної сировини, ферментних препаратів, заквасок та вологоутримувальних компонентів, здатних уповільнювати процеси черствіння, стабілізувати структуру м'якушки та забезпечувати тривале збереження якості продукції.

Таким чином, дослідження способів подовження свіжості хлібобулочних виробів є важливим науково-практичним завданням, спрямованим на зменшення харчових втрат, підвищення ефективності виробництва та реалізацію принципів сталого розвитку харчової промисловості.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження виконано із застосуванням системного підходу та комплексу загальнонаукових і спеціальних методів наукового пізнання, що дозволило всебічно охарактеризувати сучасні підходи до подовження свіжості хлібобулочних виробів та зменшення втрат продукції під час зберігання.

У процесі роботи використано діалектичний метод для обґрунтування актуальності досліджуваної проблематики та визначення теоретичних засад дослідження. Абстрактно-логічний метод застосовано для систематизації наукових даних, формування структури дослідження та встановлення взаємозв'язків між чинниками, що впливають на збереження свіжості хлібобулочних виробів. Методи аналізу та синтезу використано для оцінювання сучасних технологічних рішень, спрямованих на уповільнення процесів черствіння та мікробіологічного псування хлібобулочної продукції, а також для визначення ефективності використання харчових добавок, ферментних препаратів, заквасок і нетрадиційної сировини у технології хлібобулочних виробів. Метод узагальнення застосовано для формування комплексного підходу до інтерпретації отриманих результатів та формулювання висновків.

Інформаційною базою дослідження слугували наукові праці вітчизняних і зарубіжних учених у галузі хлібопекарських технологій, нормативно-технічна документація, результати сучасних наукових досліджень, а також матеріали фахових публікацій і відкритих інформаційних джерел, присвячених питанням подовження свіжості хлібобулочних виробів та скорочення харчових відходів. Інформаційну базу склали публікації переважно за 2000...2025 рр.

Результати та їх обговорення. Хлібобулочні вироби є складною багатокомпонентною системою, у якій під час зберігання відбуваються фізико-хімічні, структурно-механічні, органолептичні та мікробіологічні зміни, що визначають тривалість збереження їх споживчих властивостей. Основною причиною втрати свіжості є процес черствіння, зумовлений ретроградацією крохмалю та перерозподілом вологи між м'якушкою і скоринкою [4]. Паралельно розвивається мікробіологічне псування, а саме пліснявіння та картопляна хвороба, що скорочує термін придатності продукції [5].

Наукові дослідження свідчать, що процес черствіння має комплексний характер і пов'язаний насамперед із двома основними явищами:

- міграція вологи з м'якушки до скоринки в процесі зберігання, що призводить до ущільнення та втрати еластичності м'якушки;
- ретроградація (повторна кристалізація) крохмалю під час зберігання, унаслідок якої відбувається зміцнення структури клітинних стінок і підвищення твердості виробу [6].

Перерозподіл вологи призводить до затвердіння м'якушки та формування підскоринкового шару, тоді як повторна кристалізація амілопектину спричиняє внутрішнє зміцнення структури виробу [7]. Саме ретроградація крохмалю вважається однією з головних причин втрати свіжості хлібобулочних виробів.

Зважаючи на неможливість повного припинення процесів черствіння, сучасні технології спрямовані на уповільнення їх перебігу. Для цього застосовують високоякісну сировину, удосконалені режими тістоприготування, функціональні інгредієнти, харчові добавки, ферментні препарати, раціональні способи пакування та зберігання готової продукції [7–9].

Функціональні інгредієнти та харчові добавки. Одним із найбільш ефективних і технологічно обґрунтованих напрямів подовження свіжості хлібобулочних виробів є використання гідроколоїдів, емульгаторів та ферментних препаратів, дія яких спрямована на уповільнення ретроградації крохмалю, збереження вологоутримувальної здатності м'якушки та стабілізацію її структурно-механічних властивостей [2, 10, 11].

Гідроколоїди широко застосовують у технології хлібобулочних виробів завдяки їх високій гідрофільності та здатності утримувати значну кількість зв'язаної вологи. Найбільш поширеними є гуарова та ксантанова камеді, карбоксиметилцелюлоза, альгінати, пектини та модифіковані крохмалі. Встановлено, що внесення гідроколоїдів сприяє підвищенню водоутримувальної здатності тіста, формуванню більш еластичної структури м'якушки та зменшенню швидкості її затвердіння під час зберігання [12]. Це пояснюється тим, що гідроколоїди утворюють просторову сітку, здатну зв'язувати вільну вологу та обмежувати її міграцію від м'якушки до скоринки [13].

Крім того, гідроколоїди взаємодіють із компонентами крохмалю, насамперед з амілозою, утворюючи комплекси, які перешкоджають повторній кристалізації крохмальних полімерів. Саме ретроградація амілопектину є однією з основних причин черствіння хліба, оскільки супроводжується ущільненням структури м'якушки та зниженням її еластичності [14]. За даними S. Davidou та співавторів, використання гідроколоїдів дозволяє суттєво знизити максимальний рівень ретроградації крохмалю та сповільнити процес затвердіння м'якушки пшеничного хліба [15].

Гуарова камедь характеризується високою водоутримувальною здатністю та вираженим впливом на реологічні властивості тіста. Її внесення сприяє зв'язуванню вільної вологи, зменшенню швидкості міграції води від м'якушки до скоринки та уповільненню ретроградації амілопектину. Встановлено, що серед досліджених гідроколоїдів саме гуарова камедь є однією з найбільш ефективних щодо уповільнення черствіння хліба та зниження твердості м'якушки під час зберігання [16].

Ксантанова камедь використовується для підвищення в'язкості тіста та стабілізації його газоутримувальної здатності. Вона сприяє формуванню більш однорідної структури пористості та збереженню вологості м'якушки. Однак окремі дослідження показують, що надмірне дозування ксантанової камеді може призводити до формування щільнішої структури м'якушки та прискорення її затвердіння під час зберігання [16]. Разом із тим у поєднанні з іншими гідроколоїдами ксантанова камедь проявляє синергетичний ефект і покращує текстурні характеристики виробів [13].

Карбоксиметилцелюлоза (КМЦ) є похідною целюлози з високою гідрофільністю та здатністю утворювати в'язкі колоїдні системи. Її використання у технології хлібобулочних виробів забезпечує підвищення водоутримувальної здатності тіста, зменшення втрат вологи під час зберігання та сповільнення процесів ущільнення м'якушки. Крім того, КМЦ сприяє стабілізації крохмально-білкової матриці та зниженню інтенсивності ретроградації амілопектину [17].

Особливу увагу останніми роками привертає гідроксипропілметилцелюлоза (ГПМЦ). Встановлено, що ГПМЦ у концентрації 0,1...0,5% забезпечує суттєве підвищення питомого об'єму хліба, зниження початкової твердості м'якушки та уповільнення ретроградації

амілопектину [48]. Синергетичний ефект ГПМЦ з мальтогенною амілазою дозволяє досягти тривалої м'якості виробів (7...10 діб) без надмірної липкості м'якушки.

Альгірати здатні формувати гелеподібні структури, які утримують вологу в м'якушці та перешкоджають її дегідратації. Доведено, що використання альгіратів уповільнює затвердіння м'якушки, зменшує швидкість висихання виробів та забезпечує античерствильний ефект упродовж зберігання [13]. Альгірати також сприяють стабілізації структури скоринки та покращують сенсорні показники хліба.

Пектини характеризуються здатністю зв'язувати воду та формувати тривимірну колоїдну сітку, що позитивно впливає на структуру м'якушки. Їх використання сприяє підвищенню м'якості хліба, зменшенню кришкуватості та уповільненню втрати свіжості. Крім того, пектини стабілізують структуру тіста та покращують його газоутримувальну здатність [18].

Модифіковані крохмалі (ацетильовані, окислені, гідроксипропільовані) також широко застосовують для подовження свіжості хлібобулочних виробів. Їх дія пов'язана зі зниженням швидкості ретроградації амілопектину та стабілізацією аморфної структури крохмалю. Особливо ефективними є ацетильовані та гідроксипропільовані крохмалі, які забезпечують довше збереження м'якості м'якушки та уповільнюють її затвердіння під час холодного зберігання [17]. Встановлено, що часткова заміна пшеничного борошна модифікованими крохмалями забезпечує античерствильний ефект, аналогічний дії гідроколідів.

Важливу роль у подовженні свіжості відіграють емульгатори, зокрема моно- і дигліцериди жирних кислот, лецитини, ефіри молочної кислоти, DATEM та SSL. Їх дія полягає в утворенні комплексів між амілозою крохмалю та ліпідними компонентами, що зменшує схильність крохмалю до ретроградації [19]. Такі комплекси стабілізують структуру м'якушки, покращують її пористість і дозволяють довше зберігати м'якість виробів. Окрім цього, емульгатори сприяють рівномірнішому розподілу газових бульбашок у тісті, підвищують питомий об'єм та покращують текстуру готової продукції [10].

Перспективним є застосування білкових гідролізатів – гідролізат соєвого, горохового білка та сироваткового білка, що взаємодіють із крохмально-білковою матрицею м'якушки та підвищують її вологоутримувальну здатність. Крім того, трегалоза, це дисахарид, що здатний утримувати воду та знижувати константу швидкості кристалізації амілопектину, розглядається як функціональний античерствильний агент із нейтральним смаком і синергізмом із мальтогенною амілазою [49].

Рослинні олії (авокадо, рижій, льон) як функціональні жирові компоненти сприяють пластифікації клейковинно-крохмального каркасу та уповільнюють втрату вологи під час зберігання [11].

Ферментні препарати. Ферментні препарати є одним із найбільш ефективних технологічних інструментів для уповільнення процесів черствіння хлібобулочних виробів. Їх дія спрямована насамперед на модифікацію крохмально-білкового комплексу, зниження швидкості ретроградації амілопектину, покращення водоутримувальної здатності м'якушки та стабілізацію її структурно-механічних властивостей під час зберігання [20].

Найбільш поширеними у хлібопекарському виробництві є амілолітичні ферменти, зокрема α -амілаза, β -амілаза, мальтогенна амілаза та глюкоамілаза. Їх дія пов'язана з гідролізом крохмалю та утворенням низькомолекулярних цукрів і декстринів, які здатні зв'язувати вологу та зменшувати інтенсивність ретроградації крохмалю [21].

α -Амілаза є одним із найважливіших ферментів у технології хліба. Вона каталізує випадковий гідроліз α -1,4-глікозидних зв'язків крохмалю з утворенням мальтози та декстринів. Використання α -амілази сприяє покращенню газоутворення в тісті, підвищенню питомого об'єму виробів та уповільненню процесу затвердіння м'якушки [21]. Крім того, утворені декстрини утримують вологу та зменшують швидкість кристалізації амілопектину під час зберігання [22].

Особливе значення для подовження свіжості має мальтогенна амілаза. Встановлено, що цей фермент ефективно уповільнює ретроградацію амілопектину шляхом часткового гідролізу крохмальних ланцюгів і накопичення мальтоолігосахаридів та декстринів низької молекулярної маси [23]. Дослідження показали, що використання мальтогенної амілази забезпечує зниження твердості м'якушки, покращення її еластичності та подовження періоду споживчої свіжості хліба [24].

β -Амілаза також бере участь у гідролізі крохмалю, відщеплюючи молекули мальтози з нерозгалужених кінців крохмальних ланцюгів. У хлібопекарському виробництві її роль менш виражена, ніж α -амілази, проте вона забезпечує додаткове накопичення мальтози, яка використовується дріжджами під час бродіння та позитивно впливає на формування текстури виробів [21].

Глюкоамілаза (γ -амілаза) здатна гідролізувати як α -1,4-, так і α -1,6-глікозидні зв'язки крохмалю з утворенням глюкози. Її використання дозволяє інтенсифікувати процес бродіння та покращити колір скоринки за рахунок активізації реакцій Майяра. Проте надмірне дозування глюкоамілази може призводити до надмірної липкості м'якушки [21].

Ксиланази належать до геміцелюлаз і діють переважно на арабіноксилани клітинних стінок борошна. Їх використання сприяє покращенню газоутримувальної здатності тіста, формуванню більш рівномірної пористості та підвищенню вологоутримувальної здатності м'якушки [25]. У результаті зменшується швидкість її ущільнення та уповільнюється черствіння виробів.

Ліпази та фосфоліпази використовують для модифікації ліпідного комплексу тіста. Під дією цих ферментів утворюються поверхнево-активні сполуки, які взаємодіють із крохмалем та білками, стабілізують газові комірки й утворюють комплекси з амілозою [19]. Це дозволяє сповільнити ретроградацію крохмалю та зберегти м'якість м'якушки протягом тривалішого часу.

Протеолітичні ферменти (протеази) частково гідролізують білковий каркас тіста, підвищуючи його пластичність і розтяжність. Їх застосування особливо ефективно для борошна з надмірно міцною клейковиною. Водночас надлишкове використання протеаз може погіршувати структуру м'якушки та знижувати формостійкість виробів, тому їх дозування потребує ретельного контролю [26].

Окремий інтерес викликає використання трансглютамінази, яка каталізує утворення поперечних зв'язків між білковими молекулами. Це сприяє зміцненню білкової матриці, підвищенню вологоутримувальної здатності м'якушки та зменшенню її кришкватості під час зберігання [27].

Синергічні суміші ферментів (наприклад, мальтогенна амілаза + ліпаза або мальтогенна амілаза + ксиланаза) забезпечують кращий і триваліший античерствильний ефект, ніж кожен фермент окремо [50].

Технологічні заходи. Параметри тістоприготування суттєво впливають на тривалість свіжості готових виробів. Тривала холодна ферментація (12...24 год при 4...8°C) сприяє глибшому розщепленню крохмалю ендегенними амілазами, накопиченню органічних кислот і ароматичних сполук, що підвищує початкову м'якість м'якушки й уповільнює її подальше затвердіння [43].

Використання ферментованих напівфабрикатів (спонжу, пулішу, ліквору) знижує рН тіста та збільшує вміст низькомолекулярних сполук, здатних утримувати вологу [43].

Інтенсивне замішування дозволяє утворити більш рівномірну й дрібнопористу структуру м'якушки з підвищеною водопоглинальною здатністю, що безпосередньо уповільнює черствіння [43].

Режим випікання визначає характер перерозподілу вологу в готовому виробі. Оптимізація температурного профілю, зниження кінцевої температури скоринки до 180...190°C та підтримання достатнього зволоження пекарної камери зменшують

інтенсивність випаровування вологи та формують м'якшу структуру скоринки [40–42]. Повторна теплова обробка (реогрівання) вже зачерствіли виробів частково розплавляє кристали амілопектину та тимчасово відновлює м'якість м'якушки [39–42].

У зв'язку з цим останніми роками значний науковий інтерес викликає повторна теплова обробка хлібобулочних виробів після певного періоду зберігання як потенційний спосіб подовження їх свіжості без використання додаткових харчових добавок чи складного технологічного обладнання. Проте кількість наукових досліджень із цієї тематики залишається обмеженою, що підтверджує актуальність подальших досліджень у даному напрямі.

Серед фізичних способів подовження свіжості ефективними є технології заморожування, часткового випікання з подальшим допіканням, інфрачервона та НВЧ-обробка [38]. Встановлено, що повторне нагрівання хлібобулочних виробів сприяє частковому плавленню кристалів амілопектину, які утворюються під час зберігання, унаслідок чого сповільнюється процес ущільнення м'якушки та зменшується її твердість [39].

Перспективним напрямом подовження терміну придатності є застосування сучасних пакувальних технологій. Активне пакування, модифіковане газове середовище (МАР), кисневі поглиначі та антимікробні плівки дозволяють ефективно знижувати інтенсивність окислювальних процесів і мікробіологічного псування [33, 34]. Особливий інтерес викликає використання нанокмполімерних пакувальних матеріалів, що характеризуються покращеними бар'єрними та антимікробними властивостями [35–37]. Такі матеріали забезпечують захист продукції від кисню, вологи та ультрафіолетового випромінювання, що сприяє довшому збереженню свіжості виробів.

Мікробіологічне псування та методи його запобігання. Пліснявіння є основною формою мікробіологічного псування хлібобулочних виробів. Цвіль розвивається на поверхні виробів за умов відносної вологості понад 70% . Утворюючи мікотоксини (афлотоксини, ократоксин), шкідливі для здоров'я споживачів.

Для забезпечення мікробіологічної стабільності хлібобулочних виробів широко використовують консерванти, зокрема сорбати та пропіонати [29–32]. Встановлено, що пропіонат кальцію ефективно пригнічує розвиток пліснявих грибів і знижує мікробіологічне забруднення виробів під час зберігання. Проте надмірне використання таких консервантів може негативно впливати на органолептичні властивості продукції та сприяти формуванню стійкості мікроорганізмів до антимікробних речовин.

У межах концепції «clean label» перспективним є застосування природних антимікробних агентів – ефірних олій розмарину, чебрецю, орегано, а також органічних кислот (оцтової, молочної, пропілнової) та рослинних екстрактів, здатних пригнічувати розвиток пліснявих грибів без сенситивних добавок [11, 28].

Серед сучасних фізичних нетеплових методів особливе місце посідає УФ-С-випромінювання. Науковці [45] показали, що обробка булочок з пшеничного борошна УФ-С-випромінюванням (253,7 нм) ефективно пригнічує цвілеві гриби, забезпечуючи збереження текстури м'якушки протягом 10...14 діб. В науковій праці [46] підтверджено ефективність УФ-С-методу для хліба з цільнозернового та житнього борошна без погіршення сенсорних характеристик. Перспективним є також застосування холодної плазми, яка руйнує мікробні клітини без нагрівання продукту, зберігаючи летючі ароматичні сполуки [47]. Ці методи розглядаються як ефективне доповнення до хімічних консервантів у концепції мінімальної обробки харчових продуктів.

Висновки. У результаті проведеного аналізу встановлено, що подовження свіжості хлібобулочних виробів є комплексним технологічним завданням, пов'язаним із необхідністю уповільнення ретроградації крохмалю, стабілізації вологообміну в системі «м'якушка–скоринка» та забезпечення мікробіологічної безпечності продукції. Визначено, що найбільш ефективними способами збереження споживчих властивостей хліба є використання

гідроколоїдів, модифікованих крохмалів, емульгаторів і ферментних препаратів, дія яких спрямована на зменшення швидкості ущільнення м'якушки та збереження її еластичності під час зберігання.

Показано, що гідроколоїди та емульгатори сприяють зв'язуванню вологи, стабілізації структури крохмально-білкової матриці та зниженню інтенсивності ретроградації амілопектину. Встановлено високу ефективність амілолітичних ферментів, ксиланаз, ліпаз і трансглютамінази у формуванні м'якої та стабільної структури м'якушки. Перспективним напрямом є використання заквасок і рослинних екстрактів природного походження, що відповідає сучасній концепції «clean label» та забезпечує одночасне подовження свіжості й підвищення мікробіологічної стабільності виробів.

Обґрунтовано доцільність застосування сучасних пакувальних технологій, зокрема модифікованого газового середовища, активного пакування та нанокompозитних матеріалів, які дозволяють ефективно знижувати інтенсивність мікробіологічного псування та втрати якості продукції. Встановлено також перспективність фізичних способів впливу, зокрема повторної теплової обробки, як інноваційного напрямку часткового відновлення свіжості хлібобулочних виробів.

Отримані результати підтверджують необхідність комплексного поєднання технологічних, біохімічних та пакувальних рішень для створення хлібобулочних виробів із подовженим терміном збереження свіжості, скорочення харчових втрат і реалізації принципів сталого розвитку харчової промисловості.

Бібліографія

1. Pateras I.M.C. Bread Spoilage and Staling. In: *Technology of Breadmaking*. Springer, Boston, MA, 2007. https://doi.org/10.1007/0-387-38565-7_10.
2. Gray J.A., Bemiller J.N. Bread Staling: Molecular Basis and Control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2003. Vol. 2. P. 1–21. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x>.
3. Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk R., Meybeck A. Global food losses and food waste. FAO, 2011. <https://www.fao.org/4/mb060e/mb060e.pdf>.
4. Bianchi A., Venturi F., Palermo C., Taglieri I., Angelini L.G., Tavarini S., Sanmartin C. Primary and secondary shelf-life of bread as a function of formulation and MAP conditions: Focus on physical-chemical and sensory markers. *Food Packaging and Shelf Life*. 2024. Vol. 41. P. 101241. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101241>.
5. Galić K., Ćurić D., Gabrić D. Shelf life of packaged bakery goods – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2009. Vol. 49(5). P. 405–426. <https://doi.org/10.1080/10408390802067878>.
6. Melini F., Melini V., Luziatelli F., Ruzzi M. Current and forward-looking approaches to technological and nutritional improvements of gluten-free bread with legume flours: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2017. Vol. 16 (5). P. 1101–1122.
7. Melini V., Melini F. Strategies to Extend Bread and GF Bread Shelf-Life: From Sourdough to Antimicrobial Active Packaging and Nanotechnology. *Fermentation*. 2018. Vol. 4 (1). P. 9. <https://doi.org/10.3390/fermentation4010009>.
8. Ottenhof M.-A., Farhat I.A. The effect of gluten on the retrogradation of wheat starch. *Journal of Cereal Science*. 2004. Vol. 40(3). P. 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.07.002>.
9. Юргачова К.Г., Лебеденко Т.Є. Хлібобулочні вироби оздоровчого призначення з використанням фітодобавок : монографія. Київ : К-Прес, 2015. 463 с.
10. Gomez M., Ronda F., Caballero P.A., Blanco C.A., Rosell C.M. Functionality of Different Hydrocolloids on the Quality and Shelf-Life of Yellow Layer Cakes. *Food Hydrocolloids*. 2007. Vol. 21. P. 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.012>.
11. Матисов, О., Мельник, О.Ю. Шляхи подовження свіжості хліба. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 2025, 349(2), 256–260. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-349-37>.
12. Rosell C.M., Rojas J.A., Benedito de Barber C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*. 2001. Vol. 15(1). P. 75–81. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00054-0](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00054-0).

-
13. Guarda A., Rosell C.M., Benedito C., Galotto M.J. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*. 2004. Vol. 18(2). P. 241–247. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00080-8](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00080-8).
 14. Ottenhof M.-A., Farhat I.A. The effect of gluten on the retrogradation of wheat starch. *Journal of Cereal Science*. 2004. Vol. 40(3). P. 269–274. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2004.07.002>.
 15. Davidou S., Le Meste M., Debever E., Bekaert D. A Contribution to the Study of Staling of White Bread: Effect of Water and Hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*. 1996. Vol. 10. P. 375–383. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(96\)80016-6](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(96)80016-6).
 16. Kang N., Reddy C.K., Park E.Y., Choi H.-D., Lim S.-T. Antistaling effects of hydrocolloids and modified starch on bread during cold storage. *LWT*. 2018. Vol. 96. P. 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.009>.
 17. Tebben L., Li Y. Improvement of whole wheat dough and bread qualities with hydrocolloids. *Cereal Technology*. 2021. P. 116–122.
 18. Liu X. et al. Evaluation of different hydrocolloids to improve dough rheological properties and bread quality. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017.
 19. Pareyt B., Finnie S.M., Putseys J.A., Delcour J.A. Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*. 2011. Vol. 54 (3). P. 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.08.011>.
 20. Gray J.A., Bemiller J.N. Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2003. Vol. 2. P. 1–21.
 21. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва. Київ : Видавництво ПрофКнига, 2024. 516 с.
 22. Bosmans G.M., Lagrain B., Deleu L.J., Fierens E., Delcour J.A. Connections between bread wheat composition and starch retrogradation. *Cereal Chemistry*. 2013. Vol. 90(3). P. 182–190. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-12-0098-R>.
 23. Chen Y. et al. Influence of amylase addition on bread quality and bread staling. *ACS Food Science & Technology*. 2021. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00158>.
 24. Дробот В.І., Сильчук Т.А., Бондаренко Ю.В. Дослідження впливу добавок на процес черствіння хліба. *Харчова наука і технологія*. 2012. № 1. С. 56–58.
 25. Rosell C.M., Santos E., Collar C. Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Research International*. 2009. Vol. 42. P. 176–184.
 26. Cauvain S.P. *Breadmaking: Improving Quality*. Cambridge : Woodhead Publishing, 2012. 884 p.
 27. Timkiv A.V. Удосконалення технології пшеничного хліба з використанням трансглютамінази. *ELARTU*. 2023.
 28. Smith J.P. et al. Shelf Life and Safety Concerns of Bakery Products – A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2004.
 29. Axel C., Zannini E., Arendt E.K. Mold spoilage of bread and its biopreservation: A review of current strategies for bread shelf life extension. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017. Vol. 57(16). P. 3528–3542. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1147417>.
 30. Olena Bilyk, Bogachov I., Dushchak O., Khomenko D. Ensuring Microbiological Purity of Bakery Products as an Imperative of Food Safety. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2024. № 128. P. 61–66.
 31. Levinskaite L. Susceptibility of food-contaminating *Penicillium* genus fungi to some preservatives and disinfectants. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 2012. Vol. 19(1). P. 85–89.
 32. Stratford M., Nebe-von-Caron G., Steels H., Novodvorska M., Ueckert J., Archer D.B. Weak-acid preservatives: pH and proton movements in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Food Microbiology*. 2013. Vol. 161(3). P. 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.12.013>.
 33. European Commission. Commission Regulation (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. *Official Journal of the European Union*. 2009. Vol. 135. P. 3–11.
 34. Ahvenainen R. (Ed.). *Novel Food Packaging Techniques*. Elsevier, 2003.
 35. Guo M., Jin T.Z., Wang L., Scullen O.J., Sommers C.H. Antimicrobial films and coatings for inactivation of *Listeria innocua* on ready-to-eat deli turkey meat. *Food Control*. 2014. Vol. 40. P. 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.018>.
-

36. Azeredo H.M.C. de. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*. 2009. Vol. 42(9). P. 1240–1253. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.019>.
37. Mihindukulasuriya S.D.F., Lim L.-T. Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2014. Vol. 40 (2). P. 149–167. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.009>.
38. Poinot P., Arvisenet G., Grua-Priol J., Colas D., Fillonneau C., Le Bail A., Prost C. Influence of formulation and process on the aromatic profile and physical characteristics of bread. *Journal of Cereal Science*. 2008. Vol. 48(3). P. 686–697. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.03.002>.
39. Taglieri I., Macaluso M., Bianchi A., Sanmartin C., Quartacci M.F., Zinnai A., Venturi F. Overcoming bread quality decay concerns: Main issues for bread shelf life as a function of biological leavening agents and different extra ingredients used in formulation. A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021. Vol. 101(5). P. 1732–1743. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10816>.
40. Waldert K., Bittermann S., Martinović N., Schottroff F., Jäger H. Ohmic baking of wheat bread – effect of process parameters on physico-chemical quality attributes. *Journal of Food Engineering*. 2025. Vol. 392. P. 112493. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2025.112493>.
41. Dessev T., Lalanne V., Keramat J., Jury V., Prost C., Le-Bail A. Influence of Baking Conditions on Bread Characteristics and Acrylamide Concentration. *Journal of Food Science and Nutrition Research*. 2020. Vol. 3. P. 291–310. <https://doi.org/10.26502/jfsnr.2642-11000056>.
42. Olena Bilyk, Bogachov I., Bondarenko Y., Fain A., Bilokhatniuk V. Using reheating of baked products to prolong their freshness. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. Vol. 1(3(81)). P. 39–44. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.323829>.
43. Poinot P., Arvisenet G., Grua-Priol J., Fillonneau C., Le Bail A., Prost C. Influence of inulin on bread: Kinetics and physico-chemical indicators of the formation of Maillard compounds during baking. *LWT – Food Science and Technology*. 2008. Vol. 41(7). P. 1209–1220. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.07.017>.
44. Debonne E., Van Bockstaele F., De Leyn I., Devlieghere F., Eeckhout M. Validation of par-baking as a strategy for shelf-life extension of wheat and sourdough bread. *Food Control*. 2018. Vol. 94. P. 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.003>.
45. Romano R.C., Restuccia C., Rutigliano C.A.C., Spartà S., Parafati L., Barbagallo R.N., Muratore G. Effect of UV-C Treatment on Shelf Life of Soft Wheat Bread (Bun). *Foods*. 2024. Vol. 13(6). P. 949. <https://doi.org/10.3390/foods13060949>.
46. Debonne E., Thys M., Eeckhout M., Devlieghere F. The potential of UVC decontamination to prolong shelf-life of par-baked bread. *International Journal of Food Science & Technology*. 2024. <https://doi.org/10.1177/10820132231162170>.
47. Gavahian M., Chu Y.-H., Khaneghah A.M. Recent advances in cold plasma technology for food processing and decontamination. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. Vol. 18. P. 1274–1291. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12461>.
48. Kang N., Reddy C.K., Park E.Y., Choi H.-D., Lim S.-T. Antistaling effects of hydrocolloids and modified starch on bread during cold storage. *LWT*. 2018. Vol. 96. P. 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.009>.
49. Xue T., Yu J., Copeland L., Wang S. Trehalose as an antistaling agent in wheat bread. *Food Chemistry*. 2022. Vol. 377. P. 131958. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131958>.
50. Giannone, V., Lauro, M.R., Spina, A., Pasqualone, A., Auditore, L., Puglisi, I. and Puglisi, G. (2016). A new formulation of α -amylase-lipase as an anti-stamming agent in durum wheat bread. *LWT – Food Science and Technology*, 65, 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.020>.

References

1. Pateras, I. M. C. (2007). Bread spoilage and staling. In *Technology of Breadmaking*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/0-387-38565-7_10.
2. Gray, J. A., & Bemiller, J. N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 1–21. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x>.
3. Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste. FAO. <https://www.fao.org/4/mb060e/mb060e.pdf>.
4. Bianchi, A., Venturi, F., Palermo, C., Taglieri, I., Angelini, L. G., Tavarini, S., & Sanmartin, C. (2024). Primary and secondary shelf-life of bread as a function of formulation and MAP conditions: Focus on

physical-chemical and sensory markers. *Food Packaging and Shelf Life*, 41, 101241. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101241>.

5. Galić, K., Ćurić, D., & Gabrić, D. (2009). Shelf life of packaged bakery goods – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(5), 405–426. <https://doi.org/10.1080/10408390802067878>.

6. Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., & Ruzzi, M. (2017). Current and forward-looking approaches to technological and nutritional improvements of gluten-free bread with legume flours: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1101–1122.

7. Melini, V., & Melini, F. (2018). Strategies to extend bread and GF bread shelf-life: From sourdough to antimicrobial active packaging and nanotechnology. *Fermentation*, 4 (1), 9. <https://doi.org/10.3390/fermentation4010009>.

8. Ottenhof, M.-A., & Farhat, I. A. (2004). The effect of gluten on the retrogradation of wheat starch. *Journal of Cereal Science*, 40(3), 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.07.002>.

9. Iorhachova, K. H., & Lebedenko, T. Ye. (2015). *Khlibobulochni vyroby ozdorovchoho pryznachennia z vykorystanniam fitodobavok* [Bakery products for health purposes using phytoadditives]. Kyiv: K-Pres [in Ukrainian].

10. Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A., & Rosell, C. M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21, 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.012>

11. Matisov, O., & Melnyk, O. Yu. (2025). Shliakhy podovzhennia svizhosti khliba [Ways to extend bread freshness]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 349(2), 256–260. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-349-37> [in Ukrainian].

12. Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15 (1), 75–81. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00054-0](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00054-0).

13. Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C., & Galotto, M. J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 18 (2), 241–247. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00080-8](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00080-8).

14. Ottenhof, M.-A., & Farhat, I. A. (2004). The effect of gluten on the retrogradation of wheat starch. *Journal of Cereal Science*, 40(3), 269–274. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2004.07.002>.

15. Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E., & Bekaert, D. (1996). A contribution to the study of staling of white bread: Effect of water and hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, 10, 375–383. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(96\)80016-6](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(96)80016-6).

16. Kang, N., Reddy, C. K., Park, E. Y., Choi, H.-D., & Lim, S.-T. (2018). Antistaling effects of hydrocolloids and modified starch on bread during cold storage. *LWT*, 96, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.009>.

17. Tebben, L., & Li, Y. (2021). Improvement of whole wheat dough and bread qualities with hydrocolloids. *Cereal Technology*, 116–122.

18. Liu, X. et al. (2017). Evaluation of different hydrocolloids to improve dough rheological properties and bread quality. *Journal of Food Processing and Preservation*.

19. Pareyt B., Finnie S.M., Putseys J.A., Delcour J.A. Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*. 2011. Vol. 54 (3). P. 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.08.011>.

20. Gray, J. A., & Bemiller, J. N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 1–21.

21. Drobot, V. I. (2024). *Tekhnolohiia khlibopekarskoho vyrobnytstva* [Technology of bakery production]. Kyiv: ProfKnyha [in Ukrainian].

22. Bosmans G.M., Lagrain B., Deleu L.J., Fierens E., Delcour J.A. Connections between bread wheat composition and starch retrogradation. *Cereal Chemistry*. 2013. Vol. 90 (3). P. 182–190. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-12-0098-R>.

23. Chen, Y. et al. (2021). Influence of amylase addition on bread quality and bread staling. *ACS Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00158>.

24. Drobot, V. I., Sylchuk, T. A., & Bondarenko, Yu. V. (2012). *Doslidzhennia vplyvu dobavok na protses cherstvinnia khliba* [Study of the influence of additives on bread staling]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia* [Food Science and Technology], 1, 56–58 [in Ukrainian].

25. Rosell, C. M., Santos, E., & Collar, C. (2009). Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Research International*, 42, 176–184.
26. Cauvain, S. P. (2012). *Breadmaking: Improving quality*. Cambridge: Woodhead Publishing.
27. Timkiv, A. V. (2023). Udoskonalennia tekhnolohii pshechnoho khliba z vykorystanniam transglutaminazy [Improvement of wheat bread technology using transglutaminase]. ELARTU [in Ukrainian].
28. Smith, J. P. et al. (2004). Shelf life and safety concerns of bakery products – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
29. Axel C., Zannini E., Arendt E.K. Mold spoilage of bread and its biopreservation: A review of current strategies for bread shelf life extension. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017. Vol. 57(16). P. 3528–3542. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1147417>.
30. Bilyk, O., Bogachov, I., Dushchak, O., & Khomenko, D. (2024). Ensuring microbiological purity of bakery products as an imperative of food safety. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, 128, 61–66.
31. Levinskaite, L. (2012). Susceptibility of food-contaminating *Penicillium* genus fungi to some preservatives and disinfectants. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 19(1), 85–89.
32. Stratford, M., Nebe-von-Caron, G., Steels, H., Novodvorska, M., Ueckert, J., & Archer, D. B. (2013). Weak-acid preservatives: pH and proton movements in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Food Microbiology*, 161 (3), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.12.013>.
33. European Commission. (2009). Commission Regulation (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. *Official Journal of the European Union*, 135, 3–11.
34. Ahvenainen, R. (Ed.). (2003). *Novel food packaging techniques*. Elsevier.
35. Guo M., Jin T.Z., Wang L., Scullen O.J., Sommers C.H. Antimicrobial films and coatings for inactivation of *Listeria innocua* on ready-to-eat deli turkey meat. *Food Control*. 2014. Vol. 40. P. 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.018>.
36. Azeredo, H. M. C. de. (2009). Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*, 42(9), 1240–1253. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.019>.
37. Mihindukulasuriya, S. D. F., & Lim, L.-T. (2014). Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 40(2), 149–167. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.009>.
38. Poinot, P., Arvisenet, G., Grua-Priol, J., Colas, D., Fillonneau, C., Le Bail, A., & Prost, C. (2008). Influence of formulation and process on the aromatic profile and physical characteristics of bread. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 686–697. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.03.002>.
39. Taglieri, I., Macaluso, M., Bianchi, A., Sanmartin, C., Quartacci, M. F., Zinnai, A., & Venturi, F. (2021). Overcoming bread quality decay concerns: Main issues for bread shelf life as a function of biological leavening agents and different extra ingredients used in formulation. A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(5), 1732–1743. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10816>.
40. Waldert, K., Bittermann, S., Martinović, N., Schottroff, F., & Jäger, H. (2025). Ohmic baking of wheat bread – Effect of process parameters on physico-chemical quality attributes. *Journal of Food Engineering*, 392, 112493. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2025.112493>.
41. Dessev, T., Lalan, V., Keramat, J., Jury, V., Prost, C., & Le-Bail, A. (2020). Influence of baking conditions on bread characteristics and acrylamide concentration. *Journal of Food Science and Nutrition Research*, 3, 291310. <https://doi.org/10.26502/jfsnr.2642-11000056>.
42. Bilyk, O., Bogachov, I., Bondarenko, Y., Fain, A., & Bilokhatniuk, V. (2025). Using reheating of baked products to prolong their freshness. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(3(81)), 39–44. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.323829>.
43. Poinot P., Arvisenet G., Grua-Priol J., Fillonneau C., Le Bail A., Prost C. Influence of inulin on bread: Kinetics and physico-chemical indicators of the formation of Maillard compounds during baking. *LWT - Food Science and Technology*. 2008. Vol. 41(7). P. 1209–1220. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.07.017>.
44. Debonne E., Van Bockstaele F., De Leyn I., Devlieghere F., Eeckhout M. Validation of par-baking as a strategy for shelf-life extension of wheat and sourdough bread. *Food Control*. 2018. Vol. 94. P. 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.003>.
45. Romano R.C., Restuccia C., Rutigliano C.A.C., Spartà S., Parafati L., Barbagallo R.N., Muratore G. Effect of UV-C Treatment on Shelf Life of Soft Wheat Bread (Bun). *Foods*. 2024. Vol. 13 (6). P. 949. <https://doi.org/10.3390/foods13060949>.

46. Debonne E., Thys M., Eeckhout M., Devlieghere F. The potential of UVC decontamination to prolong shelf-life of par-baked bread. *International Journal of Food Science & Technology*. 2024. <https://doi.org/10.1177/10820132231162170>.
47. Gavahian M., Chu Y.-H., Khaneghah A.M. Recent advances in cold plasma technology for food processing and decontamination. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. Vol. 18. P. 1274–1291. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12461>.
48. Kang N., Reddy C.K., Park E.Y., Choi H.-D., Lim S.-T. Antistaling effects of hydrocolloids and modified starch on bread during cold storage. *LWT*. 2018. Vol. 96. P. 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.009>.
49. Xue T., Yu J., Copeland L., Wang S. Trehalose as an antistaling agent in wheat bread. *Food Chemistry*. 2022. Vol. 377. P. 131958. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131958>.
50. Giannone, V., Lauro, M.R., Spina, A., Pasqualone, A., Auditore, L., Puglisi, I. and Puglisi, G. (2016). A new formulation of α -amylase-lipase as an anti-stamming agent in durum wheat bread. *LWT – Food Science and Technology*, 65, 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.020>.