

БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

DOI: 10.31319/2519-2884.47.2025.21

УДК 664.64.0

Корнієнко І.М.¹, к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-3872-0957,

e-mail: irina.kornienko.1979@gmail.com

Гуляєв В.М.², д.т.н., професор, ORCID: 0000-0002-4991-6250, e-mail: vgulyaev@dnepro.net

Продан М.В.¹, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,

e-mail: 6915798@stud.kai.edu.ua

Коваленко А.Л.², к.х.н., доцент, ORCID: 0000-0003-1496-6634,

e-mail: alla.kovalenko.1948@gmail.com

Анацький А.С.², к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0001-5689-7660, e-mail: asanatsky@ukr.net

Філімоненко О.Ю.², старший викладач, ORCID: 0000-0001-9343-960X,

e-mail: olga.filimonenko82@gmail.com

¹Державний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ

²Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Korniienko Iryna, PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of Biotechnology Department

Gulyaev Vitalii, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Chemical

and Biological Technologies, rector

Prodan Mariya, master's degree student

Kovalenko Alla, Candidate of chemical sciences, Associate Professor of the Department of Chemical and Biological Technologies

Anatskyi Andrii, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Chemical and Biological Technologies

Filimonenko Olha, Senior lecturer of the Department of Chemical and Biological Technologies

¹State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv

²Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ВПЛИВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ПРОБІОТИЧНОГО ХЛІБА

Проведено експериментальні дослідження щодо виявлення ролі пребіотичних функціональних компонентів у складі рецептури хлібопродуктів, виготовлених з використанням симбіозу пробіотичних культур р. Lactobacillus (Lactobacillus plantarum, Lactobacillus fermentum, Lactobacillus reuteri, Lactobacillus brevis, Lactobacillus rhamnosus, Lactobacillus casei, Lactobacillus paracasei, Lactobacillus acidophilus) на якісні показники хліба. Розглянуто вплив різних концентрацій пребіотиків на якість хлібопродуктів і титр молочнокислих бактерій (МКБ) у виготовлених зразках хліба. Запропоновано в якості функціональних компонентів використовувати: насіння льону та ціа, розторопші, які були попередньо гідратовані, також екстрактів прополісу та лактулози. Оцінено хлібопродукти, виготовлені на заквасці замороженій і незамороженій, за такими показниками якості: пористість, питомий об'єм, ступінь черствіння, упік, титр пробіотичних культур після випікання та органолептичні властивості хліба. Встановлено, що МКБ, виявлені в хлібі після випікання, є термостабільними, незважаючи на температуру випікання.

Ключові слова: пробіотики; пребіотики; функціональні компоненти; життєздатність; пробіотичний хліб.

Experimental studies have been conducted to identify the role of prebiotic functional components in the composition of bakery products made using a symbiosis of Lactobacillus probiotic cul-

tures, including *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei*, and *Lactobacillus acidophilus* on the quality indicators of bread. The influence of different concentrations of prebiotics on the quality of bread products and the titre of lactic acid bacteria (LAB) in baked bread samples was considered. The following were proposed as functional components: flax and chia seeds, milk thistle, which were prehydrated, as well as propolis and lactulose extracts. Bread products made from frozen and unfrozen sourdough were evaluated according to the following quality indicators: porosity, specific volume, degree of staling, crust, titre of probiotic cultures after baking, and organoleptic properties of bread. It was found that the LAB detected in bread after baking is thermostable, regardless of the baking temperature under certain conditions. It was found that the LAB detected in bread after baking are thermostable, regardless of the baking temperature.

Keywords: probiotics; prebiotics; functional components; survivability; probiotic bread.

Постановка проблеми

Актуальним питанням сьогодення вважаються дослідження, направлені на вивчення та оцінку типової мікробіоти і пробіотичних властивостей окремих видів, доданих до складу різних хлібних заквасок. Також в останні роки зростає інтерес до використання заквасок у хлібопеченні та вивчення їх мікробіотів на якість хлібопродуктів відносно таких показників: пористість, питомий об'єм, ступінь черствіння, титр пробіотичних культур після випікання та органолептичні властивості. Проте, аналіз сучасних публікацій виявив недостатність інформації про роль функціональних компонентів у складі рецептури хліба, виготовленого на основі пробіотичних культур, оскільки найбільш вивченими є класичні закваски на основі пшеничного і житнього борошна без додавання додаткових компонентів. Хліб, отриманий з використанням закваски, відрізняється покращеними органолептичними властивостями, особливо смаком та ароматом, має покращену текстуру і більш тривалий термін зберігання. Завдяки зменшенню вмісту фітинової кислоти у готовому продукті в результаті ферментативної активності бактерій, зростає біодоступність мікроелементів, таких як кальцій, магній, залізо і цинк, збільшується кількість вільних амінокислот, тоді як кількість ферментованих оліго-, ди-, і моносахаридів, поліолів, які гірше засвоюються в тонкому кишечнику, а також глютену суттєво знижуються у ферментованому хлібі [2, 3]. Пробіотичні культури в заквасках можуть розщеплювати або пригнічувати синтез різних шкідливих речовин, таких як грибові токсини, акриламід і залишки пестицидів у борошні [1]. Відмічено і позитивний вплив хліба на заквасці на рівень глюкози в крові, на здоров'я шлунково-кишкового тракту. Спостерігається зростання наукового інтересу до галузі заквасок на основі молочнокислих бактерій (МКБ). Дослідники вказують, що кількість публікацій, пов'язаних із заквасками, суттєво зросла в період з 2010 по 2023 рік, дослідження з цієї теми проводилися у 55 країнах, переважно європейських (58,8 %), що підтверджує актуальність даного наукового напрямку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Хлібні пробіотичні закваски – це складні екосистеми, які містять бактерії і дріжджі, що виявилися найбільш адаптованими, витримали природний добір і конкуренцію за обмежені ресурси всередині закваски [1–4]. Кількість колонієутворюючих одиниць (КУО) бактерій у зрілих та усталених заквасках може бути приблизно в 100 разів більшою, ніж кількість КУО дріжджів [5–7]. Загальна кількість бактеріальних родів, що зустрічаються в заквасках на різних стадіях їх розвитку, перевищує 52 (переважно різні роди МКБ). У мікробіоті добре усталених заквасок, з яких отримують хліб з високими органолептичними характеристиками, мікроорганізми умовно можна розділити на 3 групи: домінантні, субдомінантні і сателітні групи. Домінантні групи здійснюють значну частку хімічних перетворень у вуглеводному та азотному метаболізмі, отриманні енергії, тоді як субдомінантні групи мають синергетичний ефект завдяки експресії додаткових генів і забезпечують функціонування ключових метаболічних шляхів. Сателітні групи не виробляють критично важливих речовин для існування закваски як системи і зазвичай включають умовно патогенні мікроорганізми [7, 8].

Добре відомо, що МКБ можуть функціонувати як біологічні харчові консерванти, щоб запобігти звичайному псуванню їжі грибами. Штами *Lactobacillus* включають *Lactobacillus*

plantarum, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei* та *Lactobacillus acidophilus*, і ці штами виробляють грибкові антагоністи, такі як органічні кислоти, фенольні сполуки, етанол, реутерин і білкові сполуки. Бактерії роду *Bifidobacterium* є активними проти патогених культур - *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Campylobacter JeJuni*. Більшість МКБ мають сприятливий вплив на кишковий мікробіом і загальний стан організму. Регулярне вживання продуктів, виготовлених із застосуванням таких заквасок, може сприяти підтримці здоров'я шлунково-кишкового тракту, підвищенню імунітету і регулюванню ферментативних процесів в організмі [9].

Об'єктом дослідження багатьох науковців [10,11] є органолептичні властивості і харчова цінність хліба, збагаченого різними функціональними добавками. Одним із найбільш проблемних місць у технології хліба з рафінованих видів борошна є низька біологічна цінність хліба. Нерафіновані і безглютенові види борошна, які мають більш високу біологічну цінність, негативно впливають на структурно-механічні властивості тіста, споживчі властивості хліба і збільшують собівартість виробництва. У ході дослідження авторами [11] використовувалися стандартні методи аналізу органолептичних і фізико-хімічних показників хліба. Розроблено рецептури зразків збагаченого хліба, виготовленого на основі житнього обдирного борошна, пшеничного борошна вищого гатунку і харчових добавок, які містять кіноа, чіа, льон, насіння соняшнику, настій хмелю і суху закваску.

Функціональні продукти харчування вперше були представлені в Японії в середині 1980-х років [12]. Вони збагачені корисними сполуками, які забезпечують додаткові переваги для організму людини при їх вживанні в рамках повсякденного раціону [13]. В останні роки асортимент функціональних продуктів харчування стрімко розширюється. Це відноситься і до хлібопродуктів. Хліб можна використовувати як носій поживних речовин, таких як фолат, мідь, тіамін, цинк, залізо, фітинова кислота і меланоїдини завдяки збагаченню. Крім того, хліб може слугувати надзвичайно сприятливим засобом для доставки фенольних антиоксидантів, клітковини і пробіотиків [13—15]. Враховуючи актуальність даного питання і невирішені аспекти щодо розширеного переліку функціональних компонентів, в представленій роботі висвітлено дослідження відносно впливу функціональних компонентів, які володіють пребіотичною дією і поліпшують якісні показники хлібопродуктів.

Формування мети дослідження

Мета роботи — дослідження впливу функціональних компонентів: лактулози (*Lactulose* 5 %), гідратованого насіння льону (*Linum usitatissimum* 5 %), розторопші (*Silybum marianum* 5 %), чіа (*Salvia Hispanica* 5 %) та псиліуму (*Psyllium husk fiber* 5 %) на титр молочнокислих бактерій в печеному хлібі, виготовленому на основі хлібної пребіотичної закваски (не замороженої і замороженої з наступним розморожуванням та активацією) на якісні показники функціонального хліба.

Завдання дослідження — оцінка якісних показників хлібопродуктів (питомий об'єм, еластичність, формостійкість, пористість, упік, водопоглинальна здатність, титр МКБ) в печених зразках хліба, виготовлених на основі замороженої та незамороженої заквасок в залежності від доданих функціональних компонентів. Органолептична оцінка хлібопродуктів, виготовлених на відповідних заквасках оцінювалася згідно ДСТУ4588:2006, ДСТУ 7517:2014.

Виклад основного матеріалу

Хлібопродукти, виготовлені на основі хлібних пребіотичних заквасок з доданими функціональними компонентами (насіння льону і чіа, псиліуму, прополісу, розторопші, лактулози, рис. 1). Частина зразків виготовлена на свіже виготовленій заквасці (не замороженій), частина — на замороженій з наступною активацією. Тривалість процесу заморожування закваски становила 3 місяці.

Усі види хлібних пребіотичних заквасок із додаванням цільнозернового борошна і функціональних компонентів виготовлені власноруч. Ферментація хлібних заквасок відбувалася завдяки пребіотичним культурам МКБ (*Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus lactis subsp. diacetylactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*).



Рис. 1. Загальний вигляд функціональних компонентів після гідратації

Якість хліба оцінено за такими показниками: питомий об'єм, формостійкість, пористість, упік, еластичність, водопоглинальна здатність хліба, титр МКБ в спечених зразках хліба, виготовлених на основі замороженої і незамороженої заквасок в залежності від доданих функціональних компонентів. Органолептична оцінка хлібопродуктів, виготовлених на відповідних заквасках, оцінювалася згідно ДСТУ4588:2006, ДСТУ 7517:2014.

Експериментальні дослідження проводилися у трикратному повторенні з визначенням середнього значення відносно кожного досліджуваного показника. Усі використані методи дослідження є стандартними і застосовуються в харчовій біотехнології [16, 17].

Усі функціональні компоненти, додані до закваски під час ферментації, були гідратовані.

В результаті оцінки процесу ферментації закваски встановлено, що найшвидше процес ферментації борошняної складової відбувся в таких зразках закваски:

- свіже виготовлена закваска з додаванням *Linum usitatissimum* 10 %, *Silybum marianum* 5 %, *Spinacia oleracea* 5 % і 10 %, *Psyllium husk fiber* 5 %;
- заморожена закваска з додаванням *Spinacia oleracea* 5 % і 10 %, *Linum usitatissimum* 5 і 10 %, *Psyllium husk fiber* 5 %.

Ферментація тіста найактивніше відбулася у зразках:

- свіже виготовлена закваска з додаванням *Spinacia oleracea* 10 %, *Silybum marianum* 5 %, *Psyllium husk fiber* 5 %;
- заморожена закваска з додаванням *Psyllium husk fiber* 3 %, *Spinacia oleracea* 10 %, *Propolis* 1 %, *Spinacia oleracea* 10 %.

Показники пористості [16, 17] та еластичності хлібопродуктів відносять до органолептичних, які показують ступінь ферментації борошняної складової та пропеченості хліба. Пористість хліба вказує на відсоткове співвідношення об'єму пор до загального об'єму м'якушки (визначення проводилося за допомогою приладу Журавльової). Належно ферментований хліб з рівномірною, якісною, тонкостінною пористістю легше розжовується, перетравлюється організмом людини, тому покращується його засвоєння. Пористість нормується стандартами для кожного виду хлібобулочних виробів. Згідно ДСТУ 4588:2006 «Вироби хлібобулочні для спеціального дієтичного споживання. Загальні технічні умови» пористість, в залежності від доданих функціональних компонентів, коливається в межах 46—62 %.

Еластичність визначають легким натисканням великим пальцем на поверхню м'якушки до її ущільнення на 5—10 мм в різних місцях на відстані не менше 2—3 см від кірки або нетривалим здавлюванням (2—3 с) розрізаного виробу обома руками. Після припинення натискання спостерігають, наскільки швидко і повно м'якуш набуває первинний стан. М'якуш не еластичний заминається і зазнає істотних змін.

У роботі оцінено стан м'якуша і пропеченість хліба (усі зразки були не липкими, не вологими, добре ферментованими, без грудочок, рис. 2), пористість, еластичність (після легкого натискання пальцями м'якуш усіх зразків відновив початкову форму, але зразки, виготовлені з додаванням насіння льону і чіа мали найбільшу еластичність, що пояснюється вмістом олій; також, хліб, виготовлений на замороженій заквасці має розвинуту еластичність). У представлених виробках м'якуш має належну еластичність, оскільки легко вдавлюється на 10 мм і після закінчення натискання швидко набуває первинний стан.

Пористість виробів є важливим показником, оскільки пористі продукти довше зберігають свіжість і краще засвоюються організмом. Належно ферментований хліб з рівномірною дрібною тонкостинною пористістю краще перетравлюється і засвоюється організмом, оскільки має високу ступінь ферментації.

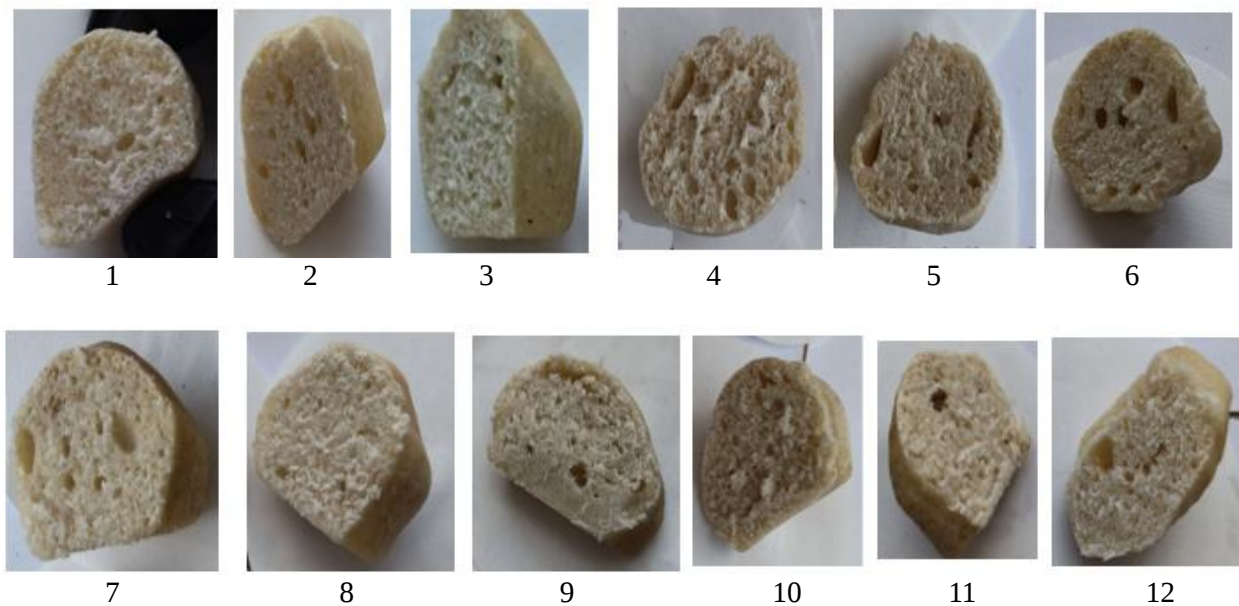


Рис. 2. Загальний вигляд хлібопродуктів, виготовлених на свіже виготовлених заквасках з додаванням пребіотичних компонентів: 1 — контроль; 2 — *Spinacia oleracea* 5 %; 3 — *Spinacia oleracea* 10 %; 4 — *Linum usitatissimum* 5 %; 5 — *Linum usitatissimum* 10 %; 6, 7 — *Psyllium husk* 3 % і 5 %; 8, 9 — *Propolis* 1 і 3 %; 10 — *Salvia hispanica* 5 %; 11 — *Silybum marianum* 5 %; 12 — *Lactulose* 5 %

Встановлено (рис. 2), що хліб з додаванням прополісу 1 % відносно борошняної складової менше за інші зразки кришиться, зберігає еластичність; найбільш вологим виявився зразок хлібу з додаванням лактулози 5 %, найгіршим є зразок з додаванням прополісу 3 %, оскільки він має недостатню пропеченість. Найменшу вологість мають зразки з додаванням псиліуму.

Загальний вигляд хлібопродуктів, виготовлених на пребіотичних заквасках після заморожування, розморожування та активації представлено на рис. 3. Усі зразки хліба, які виготовлені на заквасці, що підлягала заморожуванню і розморожуванню з наступною активацією, мали найвищу еластичність, більшу пористість, навіть зразок з додаванням прополісу у кількості 3 % не поступається зразку з додаванням 1 % прополісу. Хліб з додаванням лактулози 5 % мав легкий солодкуватий присмак.

Усі зразки хліба, виготовлені на заквасці, яка підлягала заморожуванню і розморожуванню з наступною активацією (рис. 3), мали належну еластичність, більшу пористість і питомий об'єм.

До дефектів хліба відносять малий питомий об'єм, низькі формостійкість та еластичність. Достатній питомий об'єм хліба свідчить, що хліб добре розпушений, має еластичну структуру.

Результати визначення питомого об'єму, формостійкості і пористості зразків хлібу представлено на рис. 4—7.

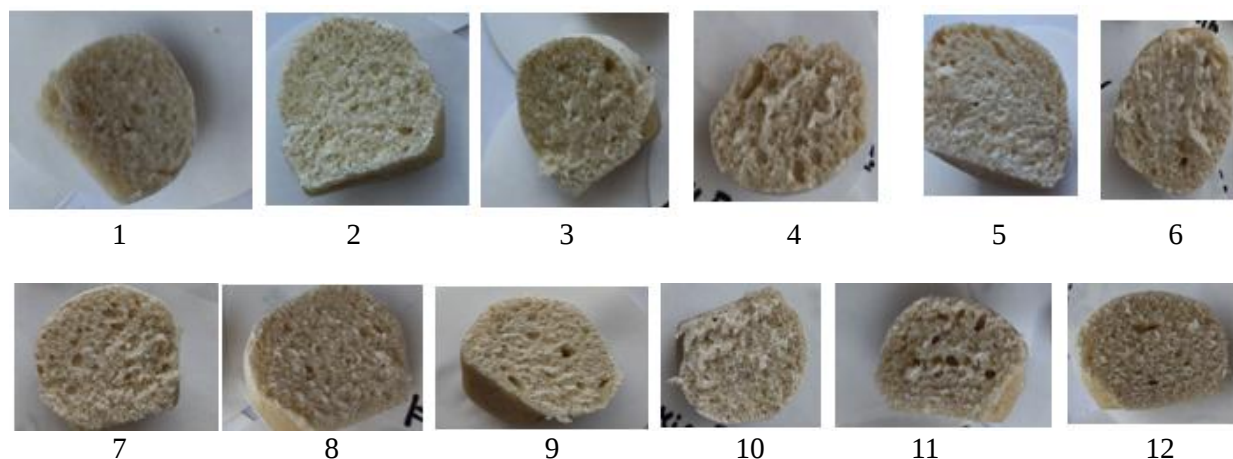


Рис. 3. Загальний вигляд хлібопродуктів, виготовлених на пробіотичних заморожених та активованих заквасках з додаванням пребіотичних компонентів: 1 — контроль; 2 — *Spinacia oleracea* 5 %; 3 — *Spinacia oleracea* 10 %; 4 — *Linum usitatissimum* 5 %; 5 — *Linum usitatissimum* 10 %; 6, 7 — *Psyllium husk* 3 % і 5 %; 8, 9 — *Propolis* 1 і 3 %; 10 — *Salvia hispanica* 5 %; 11 — *Silybum marianum* 5 %; 12 — *Lactulose* 5 %

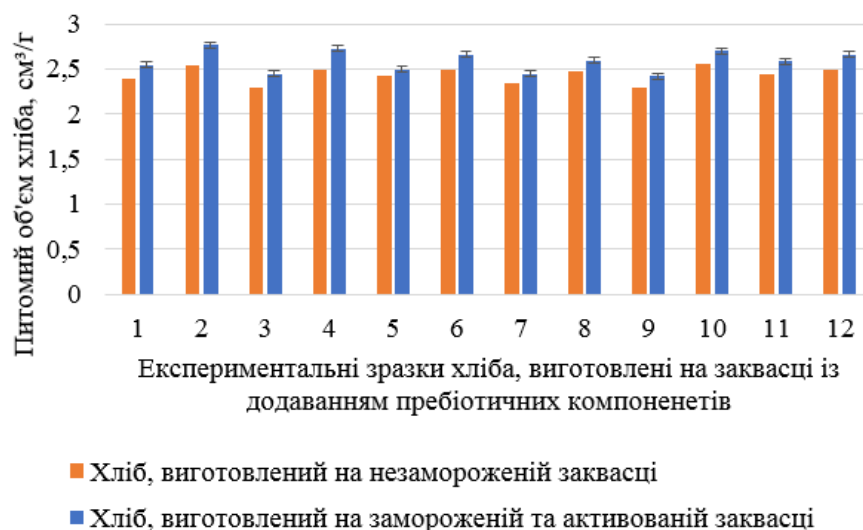


Рис. 4. Питомий об'єм хлібопродуктів

Найбільш стійким і таким, що краще зберігає форму, виявився зразок хліба з додаванням псиліуму у кількості 3 %. Це пояснюється тим, що псиліум є міцним гідроколом, який утримує вологу, утворює гелеву сітку, тому хліб набуває пружності і має високий рівень формостійкості. Гідратоване насіння льону має слизові речовини, які при набуханні закріплюють м'якуш і формують хліб, але поступається властивостям псиліуму.

Розторопша містить клітковину і білки, тому не сильно ущільнює тісто, але все одно покращує формостійкість, хоча і без гелеутворення. Латкулоза збільшує титр МКБ, підвищує ферментацію борошняної складової, але дещо розм'якшує тісто. Екстракт прополісу не впливає на формостійкість, оскільки діє як ароматична речовина. Насіння чіа багате на омега-3 карбонові кислоти, білок і клітковину, тому виділяє слиз, зв'язує воду, але дещо знижує пористість порівняно з льоном і псиліумом і надає виробу горіхового смаку. Питомий об'єм є кращим у хлібі з додаванням псиліуму.

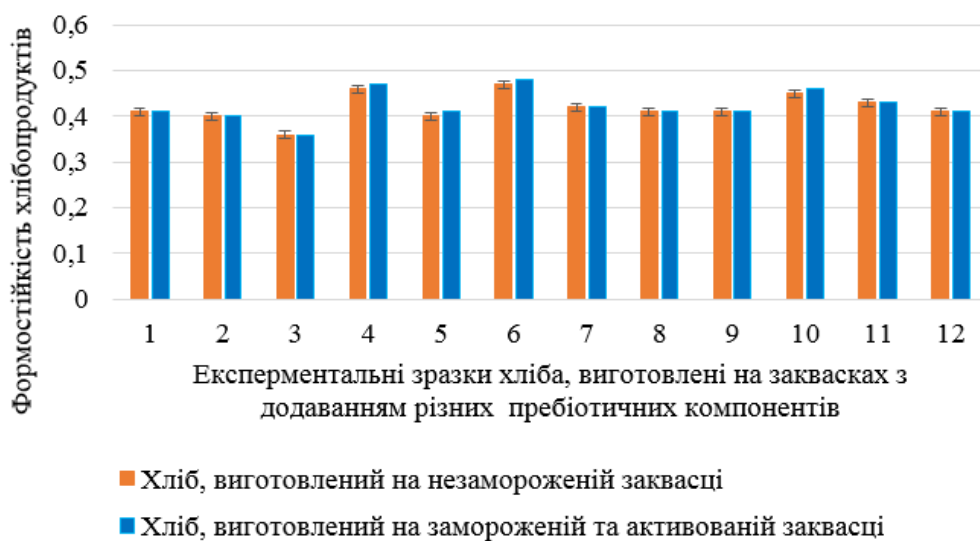


Рис. 5. Формостійкість хлібопродуктів

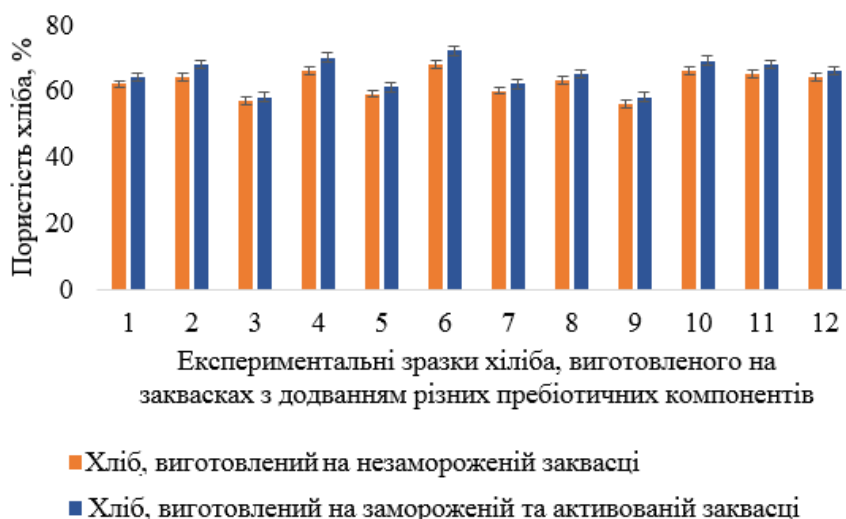


Рис. 6. Пористість хлібопродуктів

Зразки хліба, виготовлені на замороженій та активованій заквасці є кращими ніж на свіже виготовленій, оскільки заморожені та активовані колонії МКБ більш стійкі та активні, адже надали лінію клітин, адаптовану до стресових умов. Також газоутворення в цих зразках вище, тому хліб більш повітряний і має розвинутий питомий об'єм, пористість. Ці процеси пояснюються високою ферментативною активністю, оскільки вижили самі стікі та активні форми МКБ.

Внаслідок збільшення ферментативної активності МКБ, в повній мірі розщеплюється крохмаль і, як наслідок, покращується клейковина. Показники питомого об'єму, пористості у зразків, приготованих на замороженій та активованій заквасці, на 10—15 % вищі за аналогічні показники для зразків на основі свіже виготовленої закваски. Це пояснюється тим, що під час заморожування і відтаювання гине частина слабких клітин МКБ, а більш стійкі виживають. При повторному оновленні культури МКБ мають вже підвищену метаболічну активність. При заморожуванні та активації підвищується вміст ферментів амілаз і протеаз, тому що клітини відчули стресовий холодний фактор. Внаслідок таких процесів адаптації клітин МКБ, ферменти які розщеплюють крохмаль і білки, покращують пластичність тіста і його здатність утримувати

газ. Заморожена та активована закваска утворює більш активну і стабільну глютену сітку за рахунок накопичення оцтової і молочної кислот, які, в свою чергу, закріплюють білки, що призводить до кращої формостійкості і пористості.

Процес хлібопечення також оцінюється упіком (рис. 7).

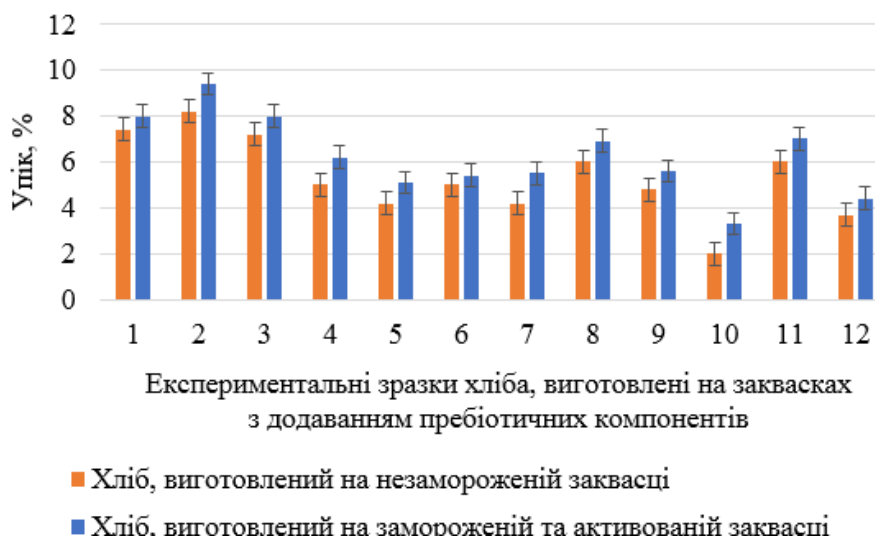


Рис. 7. Упік хлібопродуктів

Під упіком розуміють відсоток втрати ваги хліба при випіканні (вода і леткі речовини при випіканні випаровуються). Якщо хліб повітряний, має розвинуті пори, великий питомий об'єм, то він володіє збільшеною поверхнею і упік буде вищим, що і підтверджують дані рис. 7. Менш пористий хліб втрачає менше вологи на одиницю маси, тому і відсоток упіку буде нижчим. Тому зразки хлібу, виготовленого на заквасці після розморожування та активації, мають більший упік через покращені показники пористості і питомого об'єму, вищу газоутворювальну здатність. Відмічено, що упік залежить від складу закваски, рецептури хлібу і режиму випікання.

Запропоновані в роботі гідрофільні компоненти – насіння чіа та льону, псиліуму, розторопші утримують вологу через клітковину та слиз. Для менш вологого хлібу, виготовленого на замороженій заквасці упік є дещо більшим, але коливається в межах допустимих значень (6—12 %).

Водопоглинальний метод оцінки хлібопродуктів показує ступінь їх черствіння через кількість поглинутої води шматочком хліба. Чим більше ступінь черствіння, тим меншою є водопоглинальна здатність хліба. Цей показник інтерпретується таким чином, що після 7 діб зберігання зразків хліба при кімнатній температурі проводиться аналіз на предмет водопоглинання і зразки хлібу, які зберігають свіжість, мають цей показник в наступних межах: для пшеничного хлібу 1,8—2,2 г/г, для житнього 1,5—1,8 г/г, для функціонального хліба 2,0—2,4 г/г. Ступінь водопоглинання дослідних зразків хлібу наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика ступеню водопоглинання та титру МКБ в зразках хліба в залежності від доданих компонентів

Номер зразку	Ступінь водопоглинання, г/г		Титр МКБ у спечених зразках хліба, КУО/см ³	
	Свіже виготовлена закваска	Заморожена та активована закваска	Свіже виготовлена закваска	Заморожена та активована закваска
1	1,7	1,1	$1,0 \cdot 10^4$	$9,5 \cdot 10^5$
2	2,0	1,7	$6,6 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^6$
3	2,15	2,0	$4,5 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^6$

Продовження таблиці 1

4	2,03	1,71	$7,8 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^6$
5	2,3	2,1	$4,8 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^6$
6	2,2	1,8	$7,7 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^6$
7	1,85	1,65	$2,5 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^6$
8	1,72	1,55	$5,3 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^6$
9	2,22	2,0	$1,8 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^6$
10	2,0	1,77	$7,1 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^6$
11	2,0	1,78	$3,65 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^6$
12	1,9	1,6	$5,5 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^6$

Важливим є показник життєздатності клітин МКБ після випікання. Випікання хліба здійснюється при температурі 200—230 °С. Але враховуючи те, що тісто представляє собою колоїдну систему і залежить від біохімічних перетворень і клейстеризації крохмалю, наявності гідро колоїдних речовин, які було додано до рецептури, клітини МКБ в спеченому хлібі зберігають життєздатність. Температура м'якуша під час випікання в межах 65 °С, а поверхня хліба нагрівається до 150 °С, тому для дослідження обирався м'якуш. Він має достатню вологість, що дозволяє підтримувати життєдіяльність МКБ. В роботі використовувались термостійкі штами МКБ, тому в спеченому хлібі вони є в наявності. Даний хліб вважається пробіотичним, оскільки містить живі МКБ. Отримані результати роботи порівняно з іншими працями науковців і вони співвідносяться. Згідно думки авторів [18], хліб можна розглядати цікавим немолочним носієм пробіотиків в організм людини, враховуючи його щоденне споживання у всьому світі. Включення пробіотиків до складу хліба є складним завданням через високі температури випікання. У роботі вивчалось вплив різних умов випікання та подальшого зберігання на виживання модельного штаму *Lactobacillus plantarum* P8. Зразки хліба з різною вагою тіста (5, 30 і 60 г) випікали при різних температурах (175, 205 і 235 °С) протягом 8 хвилин, а залишкову життєздатність бактерій визначали кожні 2 хвилини. За всіх умов випікання життєздатність пробіотиків після випікання знизилася з 10^8 КУО/г до 10^5 КУО/г. Для конкретних умов була виявлена різниця в життєздатності бактерій між скоринкою хліба і м'якушкою, що пояснювалося різною температурою і вологістю. Примітно, що під час зберігання хліба, життєздатність бактерій МКБ збільшилася до $3 \cdot 10^8$ КУО/г у скоринці та 10^6 КУО/г у м'якушці відповідно. Повторний ріст пробіотиків супроводжувався зниженням рН хліба та підвищенням загальної титрувальної кислотності.

Висновки

Проведені дослідження дозволили охарактеризувати та оцінити ефективність використання функціональних компонентів (насіння чіа, льону, псиліуму, розторопші, екстракту прополісу, лактулози) у складі рецептури хлібопродуктів, виготовлених на хлібній пробіотичній заквасці. Доведено, що стресостійкість та антимікробна активність є типовими пробіотичними властивостями МКБ, виділених із заквасок і спеченого хлібу. Встановлено, що зразки, виготовлені на замороженій заквасці з наступною активацією, мають кращі показники пористості, еластичності, питомого об'єму, титру клітин МКБ.

Список використаної літератури

1. Zhao X., Guo Y., Kang L., Yin C., Bi A. Population genomics unravels the Holocene history of bread wheat and its relatives. *Nat. Plants*. 2023. Vol. 9(3). P. 403–419. <https://doi.org/10.1038/s41477-023-01367-3>.
2. Papadimitriou K., Zoumpopoulou G., Georgalaki M. Innovations in Traditional Foods. Elsevier, 2019. Sourdough Bread. P. 127–58. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814887-7.00006-X>.
3. D'Amico V., Gänzle M., Call L., Zwirzitz B. Does sourdough bread provide clinically relevant health benefits? *Front Nutr*. 2023. Vol. 20(10). P. 123–133. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1230043>.

4. Ribet L., Dessalles R., Lesens C., Brusselaers N., Durand-Dubief M. Nutritional benefits of sourdoughs: A systematic review. *Adv Nutr.* 2023. Vol. 14(1). P. 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2022.10.003>.
5. Sakandar H.A., Huang W., Kubow S., Sadiq F.A., Imran M. Comparison of bacterial communities in gliadin-degraded sourdough (Khamir) sample and non-degraded sample. *J Food Sci Technol.* 2020. Vol.57(1). P. 375–380. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04030-y>.
6. Vassileva I., Baev V., Yahubyan G., Apostolova-Kuzova E. Identification of Bulgarian Sourdough Microbiota by Metagenomic Approach Using Three Commercially Available DNA Extraction Protocols. *Food Technol Biotechnol.* 2023. Vol. 61(1). P. 138–147. <https://doi.org/10.17113/ftb.61.01.23.7796>.
7. McKenney E.A., Nichols L.M., Alvarado S. Sourdough starters exhibit similar succession patterns but develop flour-specific climax communities. *Peer J.* 2023. Vol. 4(11). P. 161–163. <https://doi.org/10.7717/peerj.16163>.
8. Calabrese F.M., Ameer H., Nikoloudaki O. Metabolic framework of spontaneous and synthetic sourdough metacommunities to reveal microbial players responsible for resilience and performance. *Microbiome.* 2022. Vol.10(1). P. 148. <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01301-3>.
9. Scappaticci G., Mercanti N. Bread Improvement with Nutraceutical Ingredients Obtained from Food By-Products: Effect on Quality and Technological Aspects. *Foods.* 2024. Vol. 13(6). P. 825. <https://doi.org/10.3390/foods13060825>.
10. Samilyk M., Nahorny Y., Marenkova T. Influence of enriched ingredients on the functional properties and nutritional value of bread. *Technology Audit and Production Reserves.* 2025. Vol. 3(83). P.63–68. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.329145>.
11. Nanzhen Q., Fengwei T. A comparison of the inhibitory activities of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* against *Penicillium expansum* and an analysis of potential antifungal metabolites. *FEMS Microbiology Letters.* 2020. Vol. 367(18). P. 214–227. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa130>.
12. Guiné R.P., Florença S.G., Barroca M.J. The link between the consumer and the innovations in food product development. *Foods.* 2020. Vol. 9. P. 1317. <https://doi.org/10.3390/foods9091317>.
13. Granato D., Barba F.J., Bursac Kovačević D. Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual review of food science and technology.* 2020. Vol. 11. P. 93–118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>.
14. Helou C., Gadonna-Widehem P., Robert N. The impact of raw materials and baking conditions on Maillard reaction products, thiamine, folate, phytic acid and minerals in white bread. *Food & function.* 2016. Vol. 7. P. 2498–2507. <https://doi.org/10.1039/c5fo01341k>.
15. Helou C., Jacolot P. Maillard reaction products in bread: A novel semi-quantitative method for evaluating melanoidins in bread. *Food Chemistry.* 2016. Vol. 190. P. 904–911. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.032>.
16. Shori A.B., Kee L.A., Baba A.S. Total Phenols, Antioxidant Activity and Sensory Evaluation of Bread Fortified with Spearmint. *Arabian Journal for Science and Engineering.* 2021. Vol. 46. P. 5257–5264. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-05012-5>.
17. Zhang Lu, Marieke A., Remko M. Boom. Effect of baking conditions and storage on the viability of *Lactobacillus plantarum* supplemented to bread. *Food Science and Technology.* 2018. Vol. 87. P. 318–325.
18. Corsetti A., Gobetti M., Balestrieri F. Sourdough lactic acid bacteria effects on bread firmness and staling. *Journal of Food Science.* 2008. Vol.63(2). P.347–351.

INFLUENCE OF FUNCTIONAL COMPONENTS ON THE QUALITY INDICATORS OF PROBIOTIC BREAD

Abstract

Experimental studies have been conducted to identify the role of prebiotic functional components in the composition of bakery products made using a symbiosis of *Lactobacillus* probiotic cultures, including *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactoba-*

cillus brevis, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei*, and *Lactobacillus acidophilus* on the quality indicators of bread. The influence of different concentrations of prebiotics on the quality of bread products and the titre of lactic acid bacteria in baked bread samples was considered. The following were proposed as functional components: flax and chia seeds, milk thistle, which were pre-hydrated, as well as propolis and lactulose extracts. Bread products made from frozen and unfrozen sourdough were evaluated according to the following quality indicators: porosity, specific volume, degree of staling, crust, titre of probiotic cultures after baking, and organoleptic properties of bread. The possibility of freezing sourdough with subsequent activation has been proven, as the quality of bread has improved in many respects, which is explained by the adaptive potential of LAB cells. It was found that the LAB detected in bread after baking is thermostable, regardless of the baking temperature under certain conditions. The lower moisture content and dense microstructure of bread The possibility of freezing sourdough with subsequent activation has been proven, as the quality of bread has improved in many respects, which can be explained by the adaptive potential of LAB cells. It was found that the LAB detected in bread after baking are thermostable, regardless of the baking temperature under certain conditions. The lower moisture content and dense microstructure of bread still have a positive effect on the thermostability of bacteria during baking. Maintaining cell viability during baking and storage of bread for a certain period of time is extremely important, since the minimum amount of live bacteria in probiotic foods should be 10^6 – 10^7 CFU/g in order to have a positive effect on human health.

References

- [1] Zhao X., Guo Y., Kang L., Yin C., Bi A. (2023) Population genomics unravels the Holocene history of bread wheat and its relatives. *Nat. Plants*, 9(3), 403–419. <https://doi.org/10.1038/s41477-023-01367-3>.
- [2] Papadimitriou K., Zoumpopoulou G., Georgalaki M. (2019). *Innovations in Traditional Foods*. Elsevier. Sourdough Bread. 127-58. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814887-7.00006-X>.
- [3] D'Amico V., Gänzle M., Call L., Zwirzitz B. (2023). Does sourdough bread provide clinically relevant health benefits? *Front Nutr.*, 20(10), 123–133. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1230043>.
- [4] Ribet L., Dessalles R., Lesens C., Brusselaers N., Durand-Dubief M. (2023). Nutritional benefits of sourdoughs: A systematic review. *Adv Nutr.*, 14(1), 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2022.10.003>.
- [5] Sakandar H.A., Huang W., Kubow S., Sadiq F.A., Imran M. (2020). Comparison of bacterial communities in gliadin-degraded sourdough (Khamir) sample and non-degraded sample. *J Food Sci Technol.*, 57(1), 375–380. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04030-y>.
- [6] Vassileva I., Baev V., Yahubyan G., Apostolova-Kuzova E. (2023). Identification of Bulgarian Sourdough Microbiota by Metagenomic Approach Using Three Commercially Available DNA Extraction Protocols. *Food Technol Biotechnol.*, 61(1), 138–147. <https://doi.org/10.17113/ftb.61.01.23.7796>.
- [7] McKenney E.A., Nichols L.M., Alvarado S. (2023). Sourdough starters exhibit similar succession patterns but develop flour-specific climax communities. *Peer J.*, 4(11), 161–163. <https://doi.org/10.7717/peerj.16163>.
- [8] Calabrese F.M., Ameer H., Nikoloudaki O. (2022). Metabolic framework of spontaneous and synthetic sourdough metacommunities to reveal microbial players responsible for resilience and performance. *Microbiome*, 10(1), 148. <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01301-3>.
- [9] Scappaticci G., Mercanti N. (2024). Bread Improvement with Nutraceutical Ingredients Obtained from Food By-Products: Effect on Quality and Technological Aspects. *Foods*, 13(6). 825. <https://doi.org/10.3390/foods13060825>.
- [10] Samilyk M., Nahorny Y., Marenkova T. (2025). Influence of enriched ingredients on the functional properties and nutritional value of bread. *Technology Audit and Production Reserves*, 3(83), 63–68. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.329145>.
- [11] Nanzhen Q., Fengwei T. (2020). A comparison of the inhibitory activities of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* against *Penicillium expansum* and an analysis of potential antifungal metabolites. *FEMS Microbiology Letters*, 367(18), 214–227. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa130>.

- [12] Guiné R.P., Florença S.G., Barroc M.J. (2020). The link between the consumer and the innovations in food product development. *Foods*, 9, 1317. <https://doi.org/10.3390/foods9091317>.
- [13] Granato D., Barba F.J., Bursać Kovačević D. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual review of food science and technology*, 11, 93–118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>.
- [14] Helou C., Gadonna-Widehem P., Robert N. (2016). The impact of raw materials and baking conditions on Maillard reaction products, thiamine, folate, phytic acid and minerals in white bread. *Food & function*, 7, 2498–2507. <https://doi.org/10.1039/c5fo01341k>.
- [15] Helou C., Jacolot P. (2016). Maillard reaction products in bread: A novel semi-quantitative method for evaluating melanoidins in bread. *Food Chemistry*, 190, 904–911. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.032>.
- [16] Shori A.B., Kee L.A., Baba A.S. (2021). Total Phenols, Antioxidant Activity and Sensory Evaluation of Bread Fortified with Spearmint. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46, 5257–5264. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-05012-5>.
- [17] Zhang Lu, Marieke A., Remko M. Boom. (2018). Effect of baking conditions and storage on the viability of *Lactobacillus plantarum* supplemented to bread. *Food Science and Technology*, 87, 318–325.
- [18] Corsetti A., Gobbetti M., Balestrieri F. (2008). Sourdough lactic acid bacteria effects on bread firmness and staling. *Journal of Food Science*, 63(2), 347–351.

Надійшла до редакції 09.10.2025

Прийнята після рецензування 16.10.25

Опублікована 23.10.2025