

УДК 664.66

ЗАСТОСУВАННЯ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ *LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM* ТА *LENTILACTOBACILLUS BUCHNERI* ДЛЯ ОТРИМАННЯ НУТОВОЇ ЗАКВАСКИ У ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Бондаренко Ю. В., к.т.н., доцент,
доцент кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів,
<http://orcid.org/0000-0002-3781-5604>

Годунко Є. В., аспірант кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів
<https://orcid.org/0009-0002-8715-0695>
Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2026-26-12>

Надійшла 19.05.2026. Прийнята після рецензування 21.06.2026. Опублікована 30.06.2026

Ліцензія CC BY-NC-ND 4.0

Предмет. Нутове борошно завдяки високому вмісту білка, харчових волокон та біологічно цінних компонентів є перспективною сировиною для підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів. Ефективним способом покращання його технологічних властивостей є молочнокисла ферментація із застосуванням селекціонованих штамів молочнокислих бактерій. **Мета.** Дослідження впливу молочнокислих бактерій *L. plantarum* та *L. buchneri* на формування показників якості нутової закваски та хлібобулочних виробів. **Методи.** Для отримання нутових заквасок використовували чисті культури *L. plantarum* та *L. buchneri* з Української колекції мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології імені Д.К. Заболотного НАН України. Закваски та готові вироби оцінювали за фізико-хімічними та органолептичними показниками. Аналіз ароматичних сполук проводили методом газової хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням. **Результати.** Встановлено, що чисті культури молочнокислих бактерій забезпечують активне ферментування нутового борошна протягом 14–16 год з отриманням заквасок, в яких висока активність молочнокислих бактерій (23–44 хв). Закваска на основі *L. buchneri* характеризувалася спиртово-естерним профілем (етанол $\approx 38,7\%$, етилацетат $\approx 18,1\%$), тоді як *L. plantarum* формував у заквасці молочнокислі та бобові ноти (ацетоїн $\approx 11,3\%$), а суміш культур забезпечувала найвищий вміст оцтової кислоти ($\approx 31,5\%$) та найбільш складний ароматичний профіль. Застосування нутового борошна у складі заквасок зменшувало бобовий присмак хліба. Поєднання гомо- та гетероферментативних штамів (*L. plantarum* та *L. buchneri*) для отримання нутових заквасок виявилось ефективнішим, ніж застосування монокультур: завдяки оптимальному балансу газоутворювальної та газотримувальної здатності тіста з такою закваскою формувалась найбільший питомий об'єм виробів (+12% до контролю) серед усіх досліджених зразків. **Сфера застосування результатів.** Отримані результати підтверджують перспективність нутових заквасок у хлібопеченні.

Ключові слова: нутова закваска, молочнокислі бактерії, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lentilactobacillus buchneri*, бродіння, хлібобулочні вироби

THE USE OF *LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM* AND *LENTILACTOBACILLUS BUCHNERI* LACTIC ACID BACTERIA TO PRODUCE CHICKPEA STARTER CULTURE IN BAKERY PRODUCT MANUFACTURING

Yuliia Bondarenko, PhD, Engineering, Associate Professor,
Department of Bakery and Confectionery Technology
<https://orcid.org/0000-0002-3781-5604>

Ievgen Godunko, Postgraduate Student, Department of Bakery and Confectionery Technology
<https://orcid.org/0009-0002-8715-0695>
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Subject. Due to its high content of protein, dietary fiber, and biologically valuable compounds, chickpea flour is a promising raw material for improving the nutritional and biological value of bakery products. Lactic

acid fermentation using selected strains of lactic acid bacteria is an effective approach to enhancing its technological properties. **Purpose.** To investigate the influence of *L. plantarum* and *L. buchneri* on the quality characteristics of chickpea sourdough and bakery products. **Methods.** Pure cultures of *L. plantarum* and *L. buchneri* obtained from the Ukrainian Collection of Microorganisms of the D.K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine were used for the preparation of chickpea sourdoughs. The sourdoughs and bakery products were evaluated using physicochemical and sensory analyses. Volatile aromatic compounds were determined by gas chromatography–mass spectrometry. **Results.** The studied lactic acid bacteria provided active fermentation of chickpea flour within 14–16 h, resulting in sourdoughs with high lactic acid bacterial activity (23–44 min). The sourdough fermented with *L. buchneri* was characterized by an alcohol–ester profile, with ethanol ($\approx 38.7\%$) and ethyl acetate ($\approx 18.1\%$) as the predominant compounds. In contrast, *L. plantarum* promoted the formation of lactic and legume-like notes, with acetoin accounting for approximately 11.3% of the volatile compounds. The mixed culture produced the highest content of acetic acid ($\approx 31.5\%$) and the most complex aromatic profile. The use of chickpea flour in sourdough reduced the beany flavor of bread. The combination of homofermentative and heterofermentative strains (*L. plantarum* and *L. buchneri*) proved more effective than monocultures. Owing to the optimal balance between gas-producing and gas-retaining capacities of the dough, bread produced with the mixed-culture sourdough exhibited the highest specific volume among all tested samples, exceeding the control by 12%. **Practical implications.** The obtained results confirm the potential of chickpea sourdoughs for application in breadmaking.

Key words: chickpea sourdough, lactic acid bacteria, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lentilactobacillus buchneri*, fermentation, bakery products

Постановка проблеми. Хлібобулочні вироби є одними з найпоширеніших продуктів у раціоні населення України. Водночас сучасний асортимент переважно представлений виробами з пшеничного борошна вищого та першого сортів, які характеризуються недостатньою біологічною цінністю через дефіцит лізину та низький вміст харчових волокон [1]. У зв'язку зі зростанням попиту на продукти функціонального призначення особливої актуальності набуває використання нетрадиційної рослинної сировини у хлібопекарському виробництві [2].

Перспективним напрямом є застосування борошна бобових культур, зокрема нутового, яке дозволяє підвищити харчову та біологічну цінність хлібобулочних виробів [3]. Нутове борошно характеризується високим вмістом білка (19–29%), значною кількістю лізину, харчових волокон, ненасичених жирних кислот і низьким глікемічним індексом [4, 5]. Часткова заміна пшеничного борошна нутовим покращує амінокислотний склад виробів та збільшує вміст клітковини й білка. Однак внесення нутового борошна у високих дозуваннях супроводжується погіршенням технологічних властивостей тіста та якості готових виробів: зниженням об'єму, формуванням жорсткішої м'якушки та появою характерного бобового присмаку [6, 7]. Оптимальною вважають заміну пшеничного борошна нутовим до 10% , оскільки за такого дозування забезпечуються задовільні структурно-механічні властивості тіста [6, 7].

Погіршення якості хліба при збільшенні частки нутового борошна пов'язане зі зниженням вмісту клейковини та змінами структури білкового комплексу тіста, зокрема зі збільшенням частки β -листів у білках [8, 9]. Крім того, нутове борошно містить антипоживні речовини — фітинову кислоту, інгібітори трипсину та олігосахариди (рафінозу, стахіозу), які можуть знижувати засвоюваність поживних речовин і викликати небажані фізіологічні ефекти. Для зменшення вмісту таких сполук застосовують замочування, пророщування та ферментацію. Найефективнішим методом вважається ферментація, яка покращує харчовий профіль сировини та підвищує біодоступність нутрієнтів [10, 11].

Розвиток біотехнології заквасок сприяв активному вивченню функціональної ролі молочнокислих бактерій і дріжджів у формуванні властивостей тіста та готових виробів [12]. Встановлено, що ефективність ферментації залежить від виду борошна, ферментативної активності мікроорганізмів і технологічних умов процесу [13, 14].

У хлібопеченні з борошна нетрадиційних культур переважно застосовують закваски спонтанного бродіння, однак їх використання в промислових умовах має певні обмеження через нестабільність мікрофлори та ризик контамінації небажаними мікроорганізмами [12]. Альтернативою є інокульовані закваски, отримані шляхом внесення селекціонованих штамів молочнокислих бактерій і дріжджів. Такі закваски забезпечують контрольований процес ферментації, стабільність технологічних параметрів та відтворювану якість готової продукції [15].

Ферментація бобових культур із використанням молочнокислих бактерій позитивно впливає на їх харчову та технологічну цінність. У процесі бродіння відбувається зниження вмісту антипоживних речовин, підвищення засвоюваності білків, біодоступності мінеральних речовин і вмісту фенольних сполук [16, 17, 18]. Особливий інтерес становить ферментація нутового борошна селекціонованими штамми молочнокислих бактерій, зокрема *Lactiplantibacillus plantarum*, *Limosilactobacillus fermentum*, *Pediococcus pentosaceus* та *Levilactobacillus brevis*. У результаті ферментації спостерігається інтенсивне кислотонакопичення, зниження рН до 4,0–4,5, частковий гідроліз білків та накопичення вільних амінокислот і пептидів. Крім того, зменшується вміст фітинової кислоти, інгібіторів протеаз і олігосахаридів, що сприяє покращенню засвоюваності нутового борошна та підвищенню його антиоксидантних властивостей [19, 20, 21].

Таким чином, молочнокисла ферментація є ефективним біотехнологічним інструментом модифікації нутового борошна, який дозволяє покращити його харчову цінність, знизити вміст антипоживних речовин і підвищити технологічні властивості. Ферментоване нутове борошно є перспективним інгредієнтом для створення функціональних хлібобулочних виробів, однак потребує вивчення технологічних властивостей нутової закваски для її застосування у виготовленні хлібобулочних виробів. Мета дослідження – встановити особливості ферментації нутового борошна із використанням чистих культур молочнокислих бактерій *Lactiplantibacillus plantarum* та *Lentilactobacillus buchneri*, визначити їх вплив на формування ароматичного профілю заквасок та оцінити ефективність використання отриманих нутових заквасок у технології пшеничного хліба.

Матеріали та методи досліджень. Для виведення нутової закваски використовували чисті культури молочнокислих бактерій *Lactiplantibacillus plantarum* УКМ В-2694 та *Lentilactobacillus buchneri* УКМ В-2666, отримані з Української колекції мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології імені Д.К. Заболотного НАН України на підставі договору про наукове співробітництво.

Для отримання нутової закваски нутове борошно ТМ «Сто Пудів» змішували з водою температурою 30–32°C у співвідношенні 1:1. До водно-борошняної суміші додавали суспензію молочнокислих бактерій із розрахунку 1 см³ на 100 г суміші. Суспензію молочнокислих бактерій готували з ліофілізованих культур *Lactiplantibacillus plantarum* та *Lentilactobacillus buchneri* у співвідношення 1:1 концентрацією $2 \cdot 10^9$. Перед використанням суспензії, в ній визначали кількість життєздатних клітин висіванням на стандартне поживне середовище MRS агар. Процес виведення нутової закваски із застосуванням чистих культур молочнокислих бактерій *Lactiplantibacillus plantarum* та *Lentilactobacillus buchneri* тривав 14–16 год за температури 32–35°C.

Досліджувані зразки заквасок аналізували методом газової хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням (GC–MS) з використанням аналізу газової фази над зразком (headspace) на газовому хроматографі Agilent 6890N, поєднаному з мас-селективним детектором 5973 Inert (Agilent Technologies, США).

Контрольний зразок пшеничного хліба готували із заміною 10% пшеничного борошна на нутове. Рецепт контрольного зразка хліба: борошно пшеничне вищого сорту 900 г, борошно нутове 100 г, дріжджі пресовані 30 г, сіль кухонна харчова 15 г. Спосіб приготування тіста контрольного зразку – безопарний.

Дослідні зразки тіста замішували з додаванням нутової закваски, що містила таку ж кількість нутового борошна, як контрольний зразок. Тісто замішували в двохшвидкісній тістомісильній машині ESHER (Італія) 4–6 хв (І швидкість) та 6–8 хв (ІІ швидкість). Початкова температура тіста становила 25–26°C, тривалість його виброджування – 90 хв за температури 30–32°C. Після бродіння формували тістові заготовки, які поміщали на вистоювання у шафу вистоювання Sveba Dahlin AB DC-21 (Швеція) за температури 35–37°C, після чого їх випікали у секційній печі Sveba Dahlin AB DC-21 (Швеція) за температури 210–230°C протягом 30–35 хв. Готові вироби оцінювали за органолептичними та фізико-хімічними показниками (вологість, кислотність, питомий об'єм та формостійкість). Достовірність отриманих результатів забезпечувалася повторенням експериментів 3 рази.

Кислотність, вологість закваски й тіста та активність молочнокислих бактерій закваски оцінювали загальноприйнятими методами [22]. Дослідження процесу бродіння у тісті проводили за аналізом динаміки виділення вуглекислого газу зі 100 г тіста за температури 30°C протягом 150 хв бродіння [22]. Газоутримувальну здатність тіста оцінювали за зміною питомого об'єму 100 г тіста в циліндрі протягом 150 хв бродіння.

Готовий хліб аналізували через 3 год після випікання за органолептичними (стан поверхні, правильність форми, структуру пористості, еластичність, колір і розжовуваність м'якушки, аромат та смак) та фізико-хімічними показниками (питомий об'єм хліба, кислотність, пористість) [23].

Результати та їх обговорення. За результатами візуального оцінювання консистенції та зовнішнього вигляду заквасок (рис. 1) встановлено, що закваска, отримана із застосуванням *Lentilactobacillus buchneri*, мала найбільш розпушену та рихлу структуру з великою кількістю великих газових комірок. Така структура зумовлена гетероферментативним типом бродіння *L. buchneri*, під час якого, крім органічних кислот, інтенсивно утворюється вуглекислий газ, що забезпечує активніше газопродукцію та розпушення закваски.

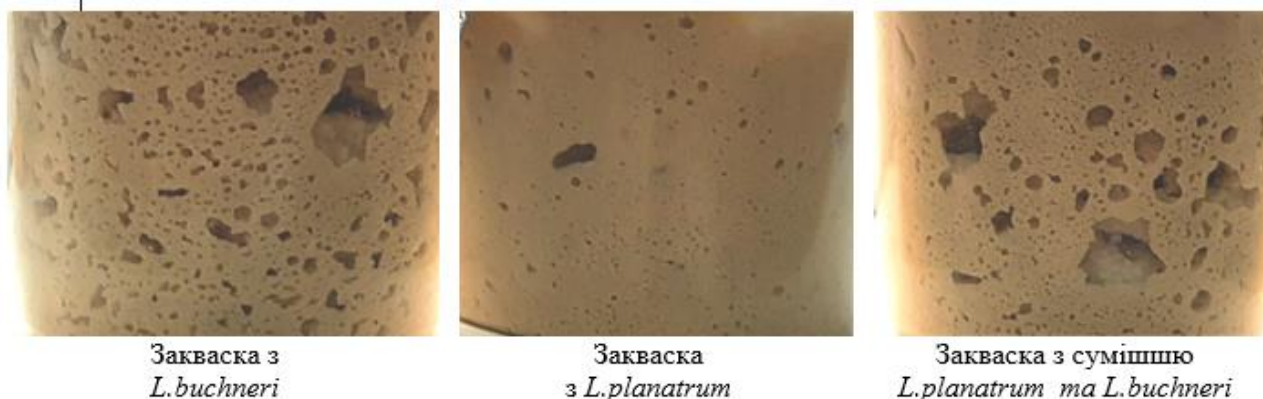


Рис. 1. Зовнішній вигляд заквасок, виведених з використанням різних молочнокислих культур

Зразок закваски, виведеної з використанням *Lactiplantibacillus plantarum* мав менш рихлу консистенцію, газові комірки в її структурі малого розміру та в меншій кількості, консистенція більш щільна. Ці бактерії продукують переважно молочну кислоту та незначну кількість вуглекислого газу.

Закваска, отримана із застосуванням суміші культур молочнокислих бактерій, характеризувалася консистенцією, подібною до закваски, ферментованої *Lentilactobacillus buchneri*. Водночас газові комірки мали менші розміри, а ступінь розпушення був нижчим. Такий результат є закономірним, оскільки поєднання гетероферментативної культури *L. buchneri*, яка інтенсивно утворює вуглекислий газ, із гомоферментативною культурою *Lactiplantibacillus plantarum*, що переважно синтезує молочну кислоту, забезпечує менш інтенсивне газоутворення. Внаслідок цього закваска зі змішаною культурою займала проміжне положення за консистенцією та ступенем розпушення між заквасками,

ферментованими окремо *L. buchneri* та *L. Plantarum*. Встановлено (табл. 1), що використані культури молочнокислих бактерій забезпечують ферментування нутового борошна під час виведення закваски та сприяють протягом 14-16 год бродіння напівфабрикату отриманню закваски, в якій висока активність молочнокислих бактерій. Порівняльний аналіз даних табл. 1 показав, що найвищою активністю (мінімальний час знебарвлення індикатора – 23хв) характеризувалася закваска з *Lentilactobacillus buchneri*, тоді як закваска з *Lactiplantibacillus plantarum* мала майже вдвічі нижчу активність (44 хв). Закваска з сумішшю культур посідала проміжне положення (27 хв), найближче до показника *Lentilactobacillus buchneri*, що свідчить про домінуючий вплив цієї культури на швидкість кислотоутворення в комбінованій заквасці.

За органолептичною оцінкою запах всіх заквасок був прийнятний для цього типу напівфабрикатів без ознак неприємних запахів, характеристика відтінків запаху була в межах властивих для заквасочних продуктів.

Таблиця 1

Показники якості нутових заквасок

n=3, p≥0,95, δ 3...5%

Показник	Закваски виведені з використанням чистих культур		
	№ 1	№ 2	№ 3
	<i>Lentilactobacillus buchneri</i>	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Суміш <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> та <i>Lentilactobacillus buchneri</i>
Масова частка води, %	52,7	53,1	52,9
Початкова кислотність, град	5,0	5,0	5,0
Кінцева кислотність, град	15,6	14,2	15,0
Активність молочнокислих бактерій в кінці бродіння, хв	23	44	27
Запах	Спиртowo-кислий з легкими фруктовими нотами, ледь відчутний бобовий аромат	Відразу молочнокислий, а потім розкривається нутowo-горіховий аромат, інтенсивніший, ніж у <i>L.buchneri</i>	Більш інтенсивніший ніж в інших зразках, відчувається відразу спиртowo-кислий запах в поєднанні з молочним та відтінками запаху квашеної капусти, а потім відчуваються нотки нутowo-горіхового аромату
Смак	Кислий, з легким бобовим післясмаком	Кислий, відчуття кислоти швидко зникає, з бобовим післясмаком	Кислий, не залишає післясмаку

Встановлено, що закваска, ферментована *Lentilactobacillus buchneri*, характеризувалася приємним спиртowo-кислим ароматом із легкими фруктовими нотами (яблука) та слабо вираженими бобовими відтінками. Закваска на основі *Lactiplantibacillus plantarum* мала переважно кисломолочний аромат із більш вираженими бобовими нотами. Найбільш інтенсивний та багатокомпонентний ароматичний профіль формувався у заквасці зі змішаною культурою. Для неї були характерні спиртowo-кислі та кисломолочні ноти, легкий ферментований відтінок, подібний до аромату квашеної капусти, а також бобові ноти, що нагадували зелений горох. Такий ароматичний профіль свідчить про утворення більш широкого спектру летких метаболітів під час сумісного культивування *L. plantarum* та *L. Buchneri*.

Результати органолептичного оцінювання запаху заквасок були підтверджені даними газохроматографічного аналізу.

За результатами газохроматографічного аналізу (табл. 2) з маспектронетричним детектуванням у заквасках ідентифіковано комплекс летких метаболітів, характерних для

молочнокислого бродіння. Основними сполуками були етанол, оцтова кислота, етил ацетат та ацетоїн, що свідчить про активний гетероферментативний метаболізм мікробіоти заквасок і пояснює підвищену кислотність та сформований ароматичний профіль закваски. Наявність гексаналю підтверджує участь ліпідних компонентів нуту у формуванні аромату, тоді як азотовмісні леткі сполуки є результатом протеолітичних процесів.

Таблиця 2

Вміст основних летких сполук нутових заквасок, % від сумарної площі піків (% ТІС)

n=3, p≥0,95, δ 3...5%

Метаболіт	<i>L. buchneri</i>	<i>L. plantarum</i>	Суміш <i>L. plantarum</i> та <i>L. buchneri</i>	Характеристика
Етанол	≈ 38,7	≈ 19,0	≈ 34,3	Спиртовий
Етил ацетат	≈ 18,1	≈ 8,8	≈ 4,0	Фруктово-естерні ноти, що пом'якшують різку кислотність
Оцтова кислота (летка)	≈ 9,7	≈ 13,3	≈ 31,5	Заквасочний, злегка оцтовий аромат
Ацетоїн (3-гідрокси-2-бутанон)	≈ 6,1	≈ 11,3	≈ 15,9	Вершково-молочні ноти
Гексаналь	≈ 2,3	≈ 4,4	≈ 6,2	Бобовий/зелений аромат

Встановлено, що закваска, ферментована *Lentilactobacillus buchneri*, характеризувалася найвищим вмістом етанолу та етил ацетату, що зумовлювало формування вираженого спиртово-естерного ароматичного профілю з легкими фруктовими нотами. Незважаючи на те, що вміст оцтової кислоти у цьому зразку був нижчим, ніж у заквасці зі змішаною культурою, її концентрація залишалася достатньо високою для формування характерного кислуватого аромату, властивого хлібним закваскам.

У заквасці, ферментованій *Lactiplantibacillus plantarum*, вміст етанолу та етил ацетату був нижчим, ніж у заквасці з *L. buchneri*. Водночас вона характеризувалася підвищеним вмістом ацетоїну та гексаналю. Ацетоїн надавав аромату м'яких молочно-вершкових відтінків, тоді як гексаналь посилював характерні бобові ноти, властиві нутовій сировині. Крім того, у цьому зразку вміст оцтової кислоти був вищим, ніж у заквасці з *L. buchneri*.

Порівняльний аналіз летких метаболітів показав, що використання *L. buchneri* сприяє формуванню більш вираженого спиртово-естерного ароматичного профілю з меншою інтенсивністю бобових відтінків. Натомість закваска на основі *L. plantarum* характеризувалася більш вираженими молочно-вершковими та бобовими нотами, що пов'язано з підвищеним накопиченням ацетоїну та гексаналю.

Використання суміші *L. buchneri* і *L. plantarum* забезпечувало найбільш інтенсивне накопичення летких органічних кислот та ароматоактивних сполук, унаслідок чого формувалася найскладніший ароматичний профіль. Найвищий вміст оцтової кислоти зумовлював більш інтенсивний кислуватий аромат, характерний для заквасок, який гармонійно поєднувався зі спиртово-естерними, молочно-вершковими та легкими бобовими нотами.

Кількісний аналіз даних табл. 2 свідчить, що вміст оцтової кислоти в заквасці з сумішню культур перевищує показник зразка з *Lactobacillus buchneri* у 3,2 раза та зразка з *Lactobacillus plantarum* – у 2,4 раза, що пояснює найбільш виражений кислуватий тон аромату цього зразка. Водночас вміст етил ацетату в суміші культур був найнижчим серед усіх зразків, зокрема у 4,5 раза нижчим, ніж у зразку з *Lactobacillus buchneri* та у 2,2 раза – з *Lactobacillus plantarum*, що свідчить про зміщення естерного компоненту аромату на користь кислотного в комбінованій заквасці. За вмістом ацетоїну закваска із сумішню культур перевищувала зразок з *Lactobacillus plantarum* на 41% і зразок з *Lactobacillus buchneri* у 2,6 раза; подібна тенденція

відзначається і за вмістом гексаналю. Це підтверджує, що поєднання культур не є простим усередненням ароматичних профілів монокультур, а супроводжується специфічним перерозподілом метаболічної активності – посиленням кислото- та ацетоїноутворенням на тлі зниження естерного аромату.

Використання отриманих заквасок у виготовленні пшеничного хліба показало (табл. 3), що у зразках із заквасками запах виробів приємний, більш інтенсивний, ніж у контролі з нутовим борошном. Зважаючи, що всі вироби було виготовлено безопарним способом, у зразках із закваскою сприйняття запаху було характерним як для опарного способу тісто приготування.

У виробах із закваскою відчувався післясмак легкої кислоти без бобового присмаку.

Встановлено, що в усіх виробах із закваскою пружність м'якушки зростає, порівняно з контрольним зразком з нутовим борошном, а її колір набуває більш кремового відтінку.

Таблиця 3

Органолептичні та фізико-хімічні показники виробів

n=3, p≥0,95, δ 3...5%

Показник	Контроль з нутовим борошном	Досліджувані зразки на заквасці		
		<i>L.buchneri</i>	<i>L.plantarum</i>	Суміш <i>L.plantarum</i> та <i>L.buchneri</i>
Колір скоринки	Темно-золотистий	Золотистий	Темно-золотистий	Золотистий
Стан та колір м'якушки	Світлий з легким кремовим відтінком, пористість, переважно середня з включенням великих пор, середня товщина стінки	Кремового кольору, дрібна та середня пористість, середня товщина стінки, з включеннями великих пор, більш пружна ніж контроль	Кремового кольору, дрібна пористість з поодинокими крупними порами, товсті стінки пор, м'якушка більш пружна ніж « <i>L.buchneri</i> »	Кремового кольору, дрібна та середня пористість, середня товщина стінок, більш пружна ніж « <i>L.buchneri</i> » та « <i>L.plantarum</i> »
Смак	Легкий бобовий присмак	На початку розжовування відчувається кислота, дуже легкий бобовий, приємний післясмак	Менш кислий ніж « <i>L.buchneri</i> », більше відчувається бобовий присмак	На початку розжовування відчувається кислота, смак більш гармонійний та приємний, ніж з « <i>L.buchneri</i> »
Запах	Більш підсилений, бобовий	Запах з легкою кислотою, з майже непомітними бобовими нотами		
Вологість, %	42,6	42,3	42,2	42,4
Кислотність, град	1,8	2,8	2,2	2,8
Пористість, %	67	66	67	69
Питомий об'єм, см ³ /г	2,5	2,3	2,5	2,8
Формостійкість, Н/Д	0,44	0,44	0,38	0,42

Аналіз структури м'якушки показав, що у виробах, виготовлених із застосуванням заквасок на основі *Lentilactobacillus buchneri* та суміші культур, формувалася більш дрібна та рівномірна пористість порівняно з контрольним зразком. Для цих виробів була характерна середня товщина стінок пор, що забезпечувало більш однорідну структуру м'якушки.

У виробах із закваскою на основі *Lactiplantibacillus plantarum* пористість була менш рівномірною, переважно дрібною, із товстішими стінками пор та поодинокими великими

порами. Така структура зумовлювала більш грубу консистенцію м'якушки під час розжовування.

За результатами органолептичної оцінки найкращі показники якості мали вироби, виготовлені із застосуванням закваски на основі *L. buchneri* та суміші культур, які характеризувалися більш привабливою структурою м'якушки та гармонійнішими смако-ароматичними властивостями.

Оцінка фізико-хімічних показників показала, що найбільший питомий об'єм був характерний для хліба, виготовленого із застосуванням закваски на основі суміші культур, і перевищував контрольний зразок на 12%. Цей зразок також характеризувався високою формостійкістю подового хліба. Найменший питомий об'єм було встановлено у виробів на заквасці *L. buchneri*, який був на 8% меншим порівняно з контролем та на 21,7% – порівняно зі зразком із сумішню культур. Найнижчу формостійкість мали вироби, виготовлені із застосуванням закваски *L. plantarum*.

Для пояснення виявлених відмінностей було досліджено вплив різних заквасок на газоутворювальну та газотримувальну здатність тістових напівфабрикатів.

Результати досліджень наведено на рис. 2, 3.

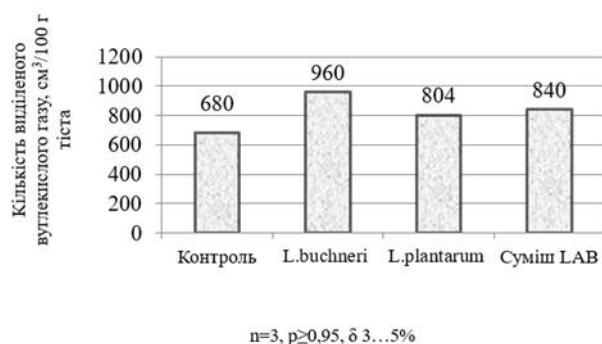


Рис. 2. Кількість виділеного вуглекислого газу в тісті

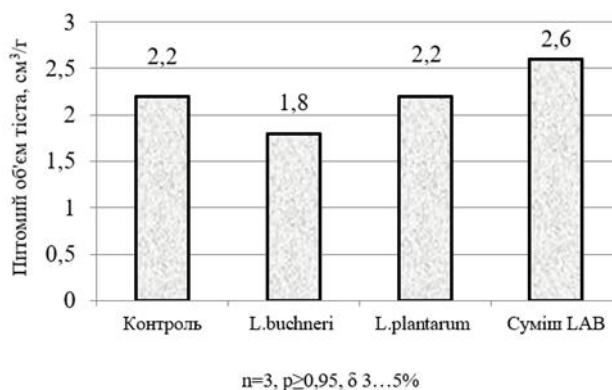


Рис. 3. Питомий об'єм тіста

Встановлено, що найбільше виділення вуглекислого газу спостерігалось у тісті із закваскою на основі *Lentilactobacillus buchneri*. Це можна пояснити гетероферментативним типом метаболізму даної культури, під час якого поряд з органічними кислотами утворюється вуглекислий газ. Крім того, під впливом *L. buchneri* у тістовій системі, ймовірно, інтенсивніше відбуваються протеолітичні процеси, що супроводжуються накопиченням амінокислот і низькомолекулярних пептидів, які можуть додатково використовуватися молочнокислими бактеріями та дріжджами як джерело поживних речовин. Водночас більш глибокий протеоліз і підвищена кислотність можуть частково послаблювати клейковинний каркас, знижуючи газотримувальну здатність тіста. У результаті, незважаючи на високе газоутворення, готові вироби характеризувалися меншим питомим об'ємом.

У тісті із закваскою на основі *Lactiplantibacillus plantarum* інтенсивність виділення вуглекислого газу була нижчою, ніж у попередньому зразку. Проте газотримувальна здатність тіста залишалася вищою, що забезпечило формування питомого об'єму хліба на рівні контрольного зразка. Це може бути пов'язано з переважно гомоферментативним типом бродіння *L. plantarum*, який меншою мірою впливає на дестабілізацію білкового каркаса тіста.

Для тіста із закваскою на основі суміші *L. buchneri* та *L. plantarum* був характерний оптимальний баланс між газоутворювальною та газотримувальною здатністю. Поєднання гетероферментативної та гомоферментативної культур забезпечувало достатнє утворення вуглекислого газу без істотного погіршення структурно-механічних властивостей

клейковинного каркаса. Унаслідок цього формувався найбільший питомий об'єм готових виробів серед усіх досліджених зразків.

Встановлені закономірності накопичення вуглекислого газу у тістових системах з неферментованим та ферментованим нутовим борошном корелюють з вищенаведеними даними (рис. 1) щодо розпушеності різних зразків нутових заквасок залежно від використаної культури молочнокислих бактерій.

Контрольний та дослідні зразки містили однакову кількість нутового борошна, тобто ступінь зниження кількості клейковини у всіх зразках був однаковий. Відмінність полягала у формі внесення нутового борошна: у контроль його вносили в неферментованому, біологічно інертному вигляді, тоді як у дослідях – у складі нутових заквасок, що містять активні молочнокислі бактерії та продукти їх метаболізму (органічні кислоти, ферменти). Під час операцій замішування й вистоювання в тістових системах ці чинники діють вже і на клейковину. Підвищена кислотність та залишкова протеолітична активність закваски ймовірно частково послаблюють клейковинний каркас, що і обумовило відмінний вплив на формування об'єму виробів, що виготовляли з внесенням заквасок, в той час як у контрольному зразку зміни клейковини обумовлені лише умовами дріжджового бродіння.

Отримані результати узгоджуються з даними інших досліджень, присвячених впливу видового складу мікробіоти заквасок із борошна бобових культур, у тому числі нутового, на процеси бродіння та формування якості готових виробів. Так, Nouska et al. [24] встановили, що внесення традиційної нутової закваски, виведеної на автохтонній мікробіоті, у рецептуру пшеничного хліба забезпечувало збільшення питомого об'єму виробів і уповільнення черствіння порівняно з контрольним зразком на дріжджах, а накопичення органічних кислот (масляної, ізомасляної) під час бродіння закваски формувало характерний «вершковий» відтінок аромату хліба, що загалом узгоджується з отриманими нами даними щодо позитивного впливу нутової закваски на об'єм виробів (підвищення на 12% для зразка із сумішшю культур) та формування специфічних ароматичних нот за рахунок продуктів бродіння. Водночас Seis Subaşı & Ergen [25], порівнюючи технологічні властивості цілнозернового пшеничного хліба за використання різних видів заквасочних культур (*Lactiplantibacillus plantarum* та *Fructilactobacillus sanfranciscensis*), встановили, що обидві культури через підвищену кислотність забезпечували нижчий питомий об'єм хліба порівняно зі спонтанним бродінням, але водночас формували сприятливіший аромат виробу. Ця закономірність добре узгоджується з виявленою в нашому дослідженні залежністю: закваска на основі гетероферментативної *L. buchneri*, яка характеризувалася найвищою кислотністю серед досліджених зразків, забезпечувала найнижчий питомий об'єм виробу (на 8% менший за контроль), тоді як збалансована за активністю закваска із сумішшю культур, що поєднувала помірну кислотність із достатнім газоутворенням, сформувала найбільший об'єм (на 12% вищий за контроль) при збереженні насиченого ароматичного профілю.

У дослідженні Huang et al. [26] порівнювали одноштамову та змішано-штамову ферментацію закваски з борошна червоної квасолі. Встановлено, що змішано-штамова ферментація, на відміну від моноштамової, забезпечувала більший питомий об'єм, меншу твердість м'якушки та вищу органолептичну оцінку хліба. Ця закономірність узгоджується з отриманими нами результатами. Застосування суміші культур *Lactiplantibacillus plantarum* та *Lentilactobacillus buchneri* у нутовій заквасці забезпечило найбільший питомий об'єм виробів (2,8 см³/г) та найкращу формостійкість порівняно з монокультурними заквасками і контролем.

Отримані результати підтверджують, що поєднання штамів із різним типом бродіння (гомоферментативним і гетероферментативним) є ефективним технологічним підходом для покращення якості хлібобулочних виробів із використанням бобової сировини. Такий підхід сприяє оптимальному поєднанню газоутворювальної та газотримувальної здатності тіста, що забезпечує кращі показники якості порівняно з використанням монокультур.

Висновки. Встановлено, що використання чистих культур молочнокислих бактерій *Lactiplantibacillus plantarum* та *Lentilactobacillus buchneri* забезпечує ефективне ферментування нуттового борошна з формуванням протягом 14–16 год бродіння заквасок в них активності молочнокислих бактерій 23–44 хв, що відповідає їх високій мікробіологічній активності. За результатами газохроматографічного аналізу встановлено, що нутові закваски характеризуються наявністю комплексу летких ароматичних сполук, серед яких домінували етанол, етил ацетат, оцтова кислота та ацетоїн. Використання суміші культур забезпечувало формування найбільш складного та гармонійного ароматичного профілю.

Визначено, що застосування нутових заквасок у технології пшеничного хліба, порівно з використанням нуттового борошна, сприяє покращенню органолептичних показників виробів: посиленню аромату, зменшенню бобового присмаку, підвищенню пружності м'якушки та формуванню більш рівномірної пористості.

Встановлено, що найбільший питомий об'єм мали вироби, виготовлені із застосуванням закваски на основі суміші *Lactiplantibacillus plantarum* та *Lentilactobacillus buchneri*, що пояснюється збалансованим поєднанням газоутворювальної та газоутримувальної здатності тіста.

Отримані результати підтверджують перспективність використання нутових заквасок із селекціонованими культурами молочнокислих бактерій у технології функціональних хлібобулочних виробів для підвищення їх харчової, біологічної та споживної цінності.

Бібліографія

1. Підвищення харчової цінності хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів : монографія. Н. П. Буяльська, О. Л. Гуменюк, Н. М. Денисова, В. М. Челябієва. Чернівці : ЧНТУ, 2020. 122 с.
2. Guiné R. P. F., Florença S. G. Development and Characterisation of Functional Bakery Products. *Physchem*. 2024. Vol. 4, №. 3. P. 234–257. <https://doi.org/10.3390/physchem4030017>.
3. Sadohara R., Winham D. M., Cichy K. A. Food Industry Views on Pulse Flour–Perceived Intrinsic and Extrinsic Challenges for Product Utilization. *Foods*. 2022. Vol. 11, №. 14. P. 2146. <https://doi.org/10.3390/foods11142146>.
4. Nutritional constituent and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review / J. Wang et al. *Food Research International*. 2021. Vol. 150. P. 110790. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110790>.
5. Mixture Design Applied to the Development of Chickpea-Based Gluten-Free Bread with Attractive Technological, Sensory, and Nutritional Quality. F. G. Santos et al. *Journal of Food Science*. 2017. Vol. 83, № 1. P. 188–197. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14009>.
6. Pulses for bread fortification: A necessity or a choice? F. Boukid et al. *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 88. P. 416–428. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.007>.
7. Effect of Partial Substitution of Wheat Flour by Processed (Germinated, Toasted, Cooked) Chickpea on Bread Quality. M. Ouazib et al. *International Journal of Agricultural Science and Technology*. 2016. Vol. 4, no. 1. P. 8–18. <https://doi.org/10.12783/ijast.2016.0401.02>.
8. Mohammed I., Ahmed A. R., Senge B. Dough rheology and bread quality of wheat–chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*. 2012. Vol. 36, no. 1. P. 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.09.006>.
9. Physicochemical and functional aspects of composite wheat-roasted chickpea flours in relation to dough rheology, bread quality and staling phenomena. K. Kotsiou et al. *Food Hydrocolloids*. 2022. Vol. 124. P. 107322. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107322>.
10. Kaur R., Prasad K. Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*) – A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 109. P. 448–463. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.044>.
11. Kahala M., Mäkinen S., Pihlanto A. Impact of Fermentation on Antinutritional Factors. *Bioactive Compounds in Fermented Foods*. New York, 2021. P. 185–206. <https://doi.org/10.1201/9780429027413-10>.
12. Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review / K. Arora et al. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 108. P. 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.008>.

13. Drivers for the establishment and composition of the sourdough lactic acid bacteria biota. M. Gobbetti et al. *International Journal of Food Microbiology*. 2016. Vol. 239. P. 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.022>.
14. Microbial ecology of sourdough fermentations: Diverse or uniform? L. De Vuyst et al. *Food Microbiology*. 2014. Vol. 37. P. 11–29. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.06.002>.
15. How to deliver sourdough with appropriate characteristics for the bakery industry? The answer may be provided by microbiota. T. T. M. Lima et al. *Food Bioscience*. 2023. P. 103072. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103072>.
16. Exploitation of the nutritional and functional characteristics of traditional Italian legumes: The potential of sourdough fermentation. J. A. Curiel et al. *International Journal of Food Microbiology*. 2015. Vol. 196. P. 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.032>.
17. Novel insights on the functional/nutritional features of the sourdough fermentation. M. Gobbetti et al. *International Journal of Food Microbiology*. 2019. Vol. 302. P. 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.05.018>.
18. Rizzello C. G., Coda R., Gobbetti M. Use of Sourdough Fermentation and Nonwheat Flours for Enhancing Nutritional and Healthy Properties of Wheat-Based Foods. *Fermented Foods in Health and Disease Prevention*. 2017. P. 433–452. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802309-9.00018-2>.
19. Lactic acid fermentation improves nutritional and functional properties of chickpea flours M. F. Chiacchio et al. *Food Research International*. 2025. P. 115899. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115899>.
20. Fermentation of chickpea flour with selected lactic acid bacteria for improving its nutritional and functional properties / G. D. Sáez et al. *Journal of Applied Microbiology*. 2021. <https://doi.org/10.1111/jam.15401>.
21. Lactobacillus plantarum ITM21B fermentation product and chickpea flour enhance the nutritional profile of salt reduced bakery products. M. Di Biase et al. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2019. Vol. 70, no. 6. P. 701–713. <https://doi.org/10.1080/09637486.2019.1567699>.
22. Дробот В. І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва. Київ: ПрофКнига, 2019. 578 с.
23. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів : навчальний посібник / за ред. чл.-кор. В. І. Дробот. Київ : Кондор-Видавництво, 2015. 972 с.
24. Nouska C., Hatzikamari M., Matsakidou A., Biliaderis C. G., Lazaridou A. Enhancement of Textural and Sensory Characteristics of Wheat Bread Using a Chickpea Sourdough Fermented with a Selected Autochthonous Microorganism. *Foods*. 2023. Vol. 12, No. 16. Article 3112. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12163112>.
25. Seis Subaşı A., Ercan R. Technological characteristics of whole wheat bread: effects of wheat varieties, sourdough treatments and sourdough levels. *European Food Research and Technology*. 2024. Vol. 250. P. 2593–2608. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04560-6>.
26. Huang C., Zhang B., Huang J., Liu Y., Chen C., Omedi J. O., Liang L., Zhou Z., Huang W., Li N. The Effects of Single- or Mixed-Strain Fermentation of Red Bean Sourdough, with or without Wheat Bran, on Bread Making Performance and Its Potential Health Benefits in Mice Model. *Foods*. 2024. Vol. 13, 17. Article 2856. <https://doi.org/10.3390/foods13172856>.

References

1. Buialska, N. P., Humeniuk, O. L., Denysova, N. M., & Cheliabiieva, V. M. (2020). *Pidvyshchennia kharchovoi tsinnosti khlibobulochnykh i boroshnianskykh kondyterskykh vyrobiv: Monohrafiia* [Increasing the nutritional value of bakery and flour confectionery products: Monograph]. Chernihiv, Ukraine: ChNTU. [in Ukrainian].
2. Guiné, R. P. F., & Florença, S. G. (2024). Development and Characterisation of Functional Bakery Products. *Physchem*, 4 (3), 234–257. <https://doi.org/10.3390/physchem4030017>.
3. Sadohara, R., Winham, D. M., & Cichy, K. A. (2022). Food Industry Views on Pulse Flour–Perceived Intrinsic and Extrinsic Challenges for Product Utilization. *Foods*, 11(14), 2146. <https://doi.org/10.3390/foods11142146>.
4. Wang, J., Li, Y., Li, A., Liu, R. H., Gao, X., Li, D., Kou, X., & Xue, Z. (2021). Nutritional constituent and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *Food Research International*, 150, 110790. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110790>.

5. Santos, F. G., Fratelli, C., Muniz, D. G., & Capriles, V. D. (2018). Mixture Design Applied to the Development of Chickpea-Based Gluten-Free Bread with Attractive Technological, Sensory, and Nutritional Quality. *Journal of Food Science*, 83(1), 188–197. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14009>.
6. Boukid, F., Zannini, E., Carini, E., & Vittadini, E. (2019). Pulses for bread fortification: A necessity or a choice? *Trends in Food Science & Technology*, 88, 416–428. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.007>.
7. Ouazib, M., Dura, A., Zaidi, F., & Rosell, C. (2016). Effect of Partial Substitution of Wheat Flour by Processed (Germinated, Toasted, Cooked) Chickpea on Bread Quality. *International Journal of Agricultural Science and Technology*, 4 (1), 8–18. <https://doi.org/10.12783/ijast.2016.0401.02>.
8. Mohammed, I., Ahmed, A. R., & Senge, B. (2012). Dough rheology and bread quality of wheat–chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*, 36 (1), 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.09.006>.
9. Kotsiou, K., Sacharidis, D.-D., Matsakidou, A., Biliaderis, C. G., & Lazaridou, A. (2022). Physicochemical and functional aspects of composite wheat-roasted chickpea flours in relation to dough rheology, bread quality and staling phenomena. *Food Hydrocolloids*, 124, 107322. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107322>.
10. Kaur, R., & Prasad, K. (2021). Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*) – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 448–463. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.044>.
11. Kahala, M., Mäkinen, S., & Pihlanto, A. (2021). Impact of Fermentation on Antinutritional Factors. *Y Bioactive Compounds in Fermented Foods* (c. 185–206). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429027413-10>.
12. Arora, K., Ameer, H., Polo, A., Di Cagno, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2021). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.008>.
13. Gobbetti, M., Minervini, F., Pontonio, E., Di Cagno, R., & De Angelis, M. (2016). Drivers for the establishment and composition of the sourdough lactic acid bacteria biota. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.022>.
14. De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., Harth, H., Huys, G., Daniel, H. M., & Weckx, S. (2014). Microbial ecology of sourdough fermentations: Diverse or uniform? *Food Microbiology*, 37, 11–29. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.06.002>.
15. Lima, T. T. M., Hosken, B. d. O., Lindner, J. D. D., Menezes, L. A. A., Pirozzi, M. R., & Martin, J. G. P. (2023). How to deliver sourdough with appropriate characteristics for the bakery industry? The answer may be provided by microbiota. *Food Bioscience*, 103072. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103072>.
16. Curiel, J. A., Coda, R., Centomani, I., Summo, C., Gobbetti, M., & Rizzello, C. G. (2015). Exploitation of the nutritional and functional characteristics of traditional Italian legumes: The potential of sourdough fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 196, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.032>.
17. Gobbetti, M., De Angelis, M., Di Cagno, R., Calasso, M., Archetti, G., & Rizzello, C. G. (2019). Novel insights on the functional/nutritional features of the sourdough fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 302, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.05.018>.
18. Rizzello, C. G., Coda, R., & Gobbetti, M. (2017). Use of Sourdough Fermentation and Nonwheat Flours for Enhancing Nutritional and Healthy Properties of Wheat-Based Foods. *Fermented Foods in Health and Disease Prevention* (c. 433–452). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802309-9.00018-2>.
19. Chiacchio, M. F., Tagliamonte, S., Pazzanese, A., Vitaglione, P., & Blaiotta, G. (2025). Lactic acid fermentation improves nutritional and functional properties of chickpea flours. *Food Research International*, 115899. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115899>.
20. Sáez, G. D., Sabater, C., Fara, A., & Zárate, G. (2021). Fermentation of chickpea flour with selected lactic acid bacteria for improving its nutritional and functional properties. *Journal of Applied Microbiology*. <https://doi.org/10.1111/jam.15401>.
21. Di Biase, M., Bavaro, A. R., Lonigro, S. L., Pontonio, E., Conte, A., Padalino, L., Minisci, A., Lavermicocca, P., & Valerio, F. (2019). *Lactobacillus plantarum* ITM21B fermentation product and chickpea flour enhance the nutritional profile of salt reduced bakery products. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 70 (6), 701–713. <https://doi.org/10.1080/09637486.2019.1567699>.

22. Drobot, V. I. (2019). Dovidnyk z tekhnolohii khlibopekarskoho vyrobnytstva [Handbook of Bakery Production Technology]. Kyiv : ProfKnyha [in Ukrainian].
23. Drobot, V. I. (Ed.). (2015). Tekhnokhimichniy kontrol syrovyny ta khlibobulochnykh i makaronnykh vyrobiv : navchalnyi posibnyk [Technochemical Control of Raw Materials and Bakery and Pasta Products: A Textbook]. Kyiv : Kondor-Vydavnytstvo. [in Ukrainian].
24. Nouska, C., Hatzikamari, M., Matsakidou, A., Biliaderis, C. G., & Lazaridou, A. (2023). Enhancement of Textural and Sensory Characteristics of Wheat Bread Using a Chickpea Sourdough Fermented with a Selected Autochthonous Microorganism. *Foods*, 12 (16), 3112. <https://doi.org/10.3390/foods12163112>.
25. Seis Subaşı, A., & Ercan, R. (2024). Technological characteristics of whole wheat bread: effects of wheat varieties, sourdough treatments and sourdough levels. *European Food Research and Technology*, 250, 2593–2608. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04560-6>.
26. Huang, C., Zhang, B., Huang, J., Liu, Y., Chen, C., Omedi, J. O., Liang, L., Zhou, Z., Huang, W., & Li, N. (2024). The Effects of Single- or Mixed-Strain Fermentation of Red Bean Sourdough, with or without Wheat Bran, on Bread Making Performance and Its Potential Health Benefits in Mice Model. *Foods*, 13(17), 2856. <https://doi.org/10.3390/foods13172856>.