

РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-2\(44\)-324-334](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-2(44)-324-334)

УДК 664.6:579.864:615.3

**Мирослав Ярославович Бомба¹, Лариса Олександрівна Федина²,
Олександра Богданівна Максимець³, Юрій Васильович Максимець⁴**

¹доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри готельно-ресторанної справи та харчових технологій

Львівський Національний університет імені Івана Франка (Львів, Україна)

E-mail: mirbomba55@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7865-2111>

ResearcherID: PLS-3672-2026. Scopus Author ID: 58317716100

²кандидат хімічних наук, доцент кафедри готельно-ресторанної справи та харчових технологій

Львівський Національний університет імені Івана Франка (Львів, Україна)

E-mail: lofedyna@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6597-674X>

ResearcherID: M-2846-2018. Scopus Author ID: 8574229000

³старший викладач кафедри готельно-ресторанної справи та харчових технологій

Львівський Національний університет імені Івана Франка (Львів, Україна)

E-mail: maxymezl@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5302-3050>

⁴кандидат економічних наук, доцент кафедри економіки підприємства

Львівський Національний університет імені Івана Франка (Львів, Україна)

E-mail: maxymezj@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9693-4147>

ЗАКВАСКА ЯК БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ГАСТРОНОМІЇ

У роботі розглянуто закваску як біотехнологічний інструмент молекулярної гастрономії. Досліджено вплив типу борошна, на основі якого вироцьувалася закваска (гречаного та гречано-житнього), а також додавання кураги на формування органолептичних і фізико-хімічних властивостей хліба. Встановлено, що найкращим складом борошняної суміші для випікання є поєднання пшеничного борошна вищого татунку (80%), пшеничного цільнозернового (10%) та гречаного (10%). Додавання кураги покращує ароматичний профіль виробів, підвищує титровану кислотність та антиоксидантну активність. Результати підтверджують можливість використання закваски для цілеспрямованого моделювання текстури, смаку та функціональних властивостей хліба.

Ключові слова: закваска; гречане борошно; пшеничне борошно; курага; молочнокислі бактерії; хліб.

Рис.: 2. Бібл.: 19.

Актуальність теми дослідження. Молекулярна кухня є сучасним напрямком гастрономії, що інтегрує кулінарне мистецтво з фундаментальними знаннями про фізико-хімічні та біохімічні перетворення харчових компонентів. Ключовим завданням цього підходу є цілеспрямоване керування процесами, які формують сенсорні характеристики, текстуру та харчову цінність страв, зокрема в контексті створення продуктів із «чистим складом» (clean label) та оздоровчими властивостями [1].

Одним із найпоказовіших об'єктів для застосування принципів молекулярної кухні є хліб, виготовлений на заквасці. Процес спонтанної ферментації являє собою складну біотехнологічну систему, в якій симбіотична взаємодія молочнокислих бактерій та асоційованих дріжджів призводить до накопичення органічних кислот, синтезу летких ароматичних сполук та утворення метаболітів з пробіотичним потенціалом [2; 3]. Специфічний набір мікроорганізмів у тісті не лише визначає гастрономічну привабливість випічки, а й радикально змінює її нутрієнтний склад. Внутрішнє середовище кожної закваски є унікальним, оскільки воно формується під впливом комплексу зовнішніх та внутрішніх чинників, що перетворює базову суміш борошна та води на складний гастрономічний об'єкт із високим ступенем корисності. Дослідження мікробіоти різних заквасок свідчать про значну варіабельність видового складу залежно від типу борошна та умов культивування, що безпосередньо впливає на кінетику кислотності культури [4; 5]. Зокрема, здатність деяких представників молочнокислої мікрофлори продукувати значні кількості оцтової

кислоти має виражений антигрибковий ефект: недисоційована кислота проникає крізь мембрани клітин грибів, спричиняючи зниження внутрішньоклітинного рН та пригнічення їхнього метаболізму [6].

Постановка проблеми. Традиційне сприйняття ферментованих напівфабрикатів виключно як засобу для аерації тіста поступово поступається місцем розумінню їхньої ролі як багатофункціональних біотехнологічних інструментів. Сучасна наука відкриває нові горизонти використання мікробіологічних культур, проте певні аспекти все ще потребують глибокого аналізу. Зокрема, недостатньо вивченими залишаються молекулярні механізми, що вивчають функціональні властивості закваски, а також можливості використання нетрадиційних видів борошна (зокрема гречаного та їхніх сумішей) та їхній вплив на формування сенсорних характеристик і біологічну цінність готових виробів.

У цьому контексті заслуговують на увагу дослідження щодо використання закваски як інструменту молекулярної гастрономії для цілеспрямованого моделювання текстури та смаку хліба. Застосування чистого гречаного борошна як інноваційного інгредієнта для випічки хліба, так і в комбінації з житнім складником, не є випадковим, а ґрунтується на специфічній нутрієнтній архітектурі цих культур. Таке поєднання створює оптимальне середовище для життєдіяльності мікроорганізмів, забезпечуючи їх рідкісними сполуками, які відсутні у класичній пшеничній сировині. Гречка містить значну кількість поліфенольних сполук, зокрема рутину, які проявляють антиоксидантну активність і можуть підсилювати функціональні властивості хліба. Крім того, гречане борошно має підвищений вміст білка та мінеральних речовин, що сприяє формуванню продуктів із підвищеною харчовою цінністю [4]. Додавання житнього борошна у співвідношенні 1:1 забезпечує більш стабільний розвиток мікробіоти закваски, оскільки житнє борошно містить легкодоступні цукри, які стимулюють активність молочнокислих бактерій та дріжджів [4; 5]. Така комбінація дозволяє досягти балансу між кислотністю закваски і її ароматичним профілем.

Вибір пшенично-гречаної суміші для випікання хліба обґрунтований необхідністю поєднати технологічні властивості пшеничного борошна з функціональними перевагами гречки. Пшеничне борошно забезпечує оптимальну газоутримувальну здатність тіста та формування еластичної структури м'якуша [7], тоді як гречане додає виражений смакоароматичний акцент і підвищує біологічну цінність виробів [5]. Цільнозернове пшеничне борошно додатково збагачує продукт харчовими волокнами та мікроелементами, що відповідає сучасним тенденціям створення продуктів із «чистим складом» та оздоровчими властивостями [1]. Саме таке співвідношення дозволяє отримати хліб із гармонійним поєднанням сенсорних характеристик, високим рівнем антиоксидантної активності та стабільною текстурою, що підтверджено органолептичними та фізико-хімічними дослідженнями [2; 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасна наука про харчування розглядає закваску як складну біотехнологічну систему, аналіз якої неможливий без розуміння молекулярних механізмів, що лежать в основі ферментації. Формування та дозрівання закваски визначається консорціумом молочнокислих бактерій та дріжджів, чия метаболічна активність зумовлює накопичення органічних кислот, летких сполук та біологічно активних пептидів. Аналіз поліморфізму мікроорганізмів у спонтанних заквасках підтверджує, що їхня внутрішня структура не є статичною. Навпаки, вона являє собою гнучку систему, яка постійно трансформується під впливом навколишнього середовища та технологічних маніпуляцій, що зрештою визначає унікальність кожного біологічного зразка [4; 5; 8]. Зокрема, у заквасках, виготовлених із нетрадиційних видів сировини, таких як гречка, домінують гетероферментативні молочнокислі бактерії, що забезпечують високий вміст оцтової кислоти, яка має виражену антигрибкову дію [9].

Одним із найбільш багатобічючих векторів сучасної нутриціології є інтеграція кукурудзяного помелу в процеси біоферментації. Це відкриває широкі можливості для моделювання спеціалізованих (безглютенних) виробів, орієнтованих на споживачів із особливими дієтичними потребами. У сучасному векторі розвитку хлібопекарської індустрії саме методологія культивування виступає фундаментом для конструювання заквасок з покращеними характеристиками. Перехід до нових стандартів якості вимагає не лише підбору інгредієнтів, а й розробки та вдосконалення технології їх приготування та дозрівання. Дослідження впливу технологічних параметрів на якість спонтанних заквасок показало, що оптимальний час розвитку для популяцій молочнокислих бактерій та дріжджів становить 72 години за температури 25 °С. При цьому високою продуктивністю вирізнялися зразки, отримані з суміші житнього та кукурудзяного борошна у співвідношення 1:1, де спостерігалася збалансованість мікробного ценозу [8].

Вітчизняні дослідження також підтверджують, що додавання рослинної сировини, зокрема насіння базиліку, що прискорює дозрівання закваски та підвищує біохімічну активність мікробіоти [10; 11]. Використання екзогенних штамів мікроорганізмів дозволяє прискорити процес ферментації та цілеспрямовано впливати на властивість тіста. Наприклад, доведено, що застосування *Lactiplantibacillus plantarum* не лише інтенсифікує кислотонакопичення, але й підвищує стійкість тіста до багаторазового заморожування завдяки синтезу кріопротекторних речовин [3]. Систематичний аналіз реологічних параметрів тіста показує, що використання різних штамів молочнокислих бактерій суттєво впливає на його пружність, еластичність та газоутримувальну здатність [12]. Це, своєю чергою, корелює з якістю готових виробів. Аналіз параметрів випічки, до складу якої інтегровано ферментовані біопрепарати, демонструє їхню ключову роль у формуванні структурно-механічного каркаса готової продукції. Впровадження метаболітів мікробіологічного походження дозволяє не лише збагатити смакову палітру, а й суттєво вплинути на тривалість життєвого циклу виробу за рахунок органічних кислот, які сповільнюють процеси ретроградації крохмалю [13].

У сучасній парадигмі здорового харчування, продукти на основі природного бродіння класифікуються не просто як базова їжа, а як акумулятори життєво необхідних нутрієнтів. Використання стартових культур дозволяє трансформувати інертні компоненти зерна на легкозасвоювані форми з високим ступенем біологічної доступності. Зокрема, застосування сумішей різних видів борошна (наприклад, амаранту, гречки та кіноа) для створення спонтанних заквасок дозволяє отримувати продукти з підвищеним вмістом білка та біоактивних пептидів, що виявляють антиоксидантну активність [13; 14]. Крім того, метаболіти, утворені в процесі молочнокислого бродіння, здатні позитивно впливати на склад кишкової мікробіоти, підвищувати біодоступність мінеральних речовин, що відкриває перспективи для створення продуктів функціонального призначення [13; 15]. Важливо зазначити, що сучасні наукові дослідження тісно пов'язані з вивчення традиційних технологій. Традиційні українські техніки хлібопечення, зокрема приготування хліба на хмелевих заквасках, отримали ґрунтовне наукове висвітлення в сучасних міжнародних виданнях, що підкреслює їхню унікальність та важливість для європейської хлібної спадщини [16]. Таким чином, аналіз літературних джерел підтверджує, що закваска є не просто традиційним розпушувачем, а складним біотехнологічним інструментом [17-19].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на вагомий зростання у дослідженні спонтанних заквасок на основі неklasичної сировини, у цій галузі все ще спостерігається певний інформаційний вакуум. Багато процесів, що відбуваються на мікрорівні під час використання рідкісних видів борошна, досі не мають вичерпного наукового обґрунтування. Зокрема: відсутні системні дослідження, які б порівнювали

вплив чистого гречаного борошна та його комбінації із житнім борошном на метаболічну активність мікробіома закваски; не вивчено комбінований ефект додавання кураги (як природного джерела антиоксидантів та цукрів) на тлі різних типів борошна в контексті спонтанної ферментації; не досліджено можливий взаємний вплив між типом борошна та додаванням кураги, яка може посилювати функціональні властивості кінцевого продукту; відсутні роботи, в яких закваска на гречаному та гречано-житньому борошні з курагою розглядалася б як цілісний біотехнологічний інструмент молекулярної гастрономії для цілеспрямованого моделювання якості хліба.

Мета роботи. Наукове обґрунтування функціональних властивостей хлібних заквасок, отриманих шляхом спонтанного культивування асоційованої мікробіоти на гречаному та гречано-житньому борошні, з додаванням кураги та без неї, а також визначення оптимального складу борошняної суміші для випікання хліба. Дослідження спрямоване на оцінку потенціалу заквасок як біотехнологічного інструменту молекулярної гастрономії для цілеспрямованого моделювання текстурних, сенсорних та антиоксидантних властивостей хліба.

Виклад основного матеріалу. Реалізація поставлених завдань базувалася на комплексному аналітичному підході, де ключову роль відіграла варіативність вихідних компонентів. Експериментальна частина була вибудована навколо синергії рослинних інгредієнтів та їхнього впливу на ферментаційні процеси. Першим етапом став аналіз впливу сировинного базису (сортів борошна) у поєднанні з натуральним стимулятором бродіння – подрібненими абрикосами (курагою), що виступали додатковим джерелом цукрів та мікрофлори для закваски. Другий – охоплював пошук ідеальних пропорцій при створенні тіста, де основна пшенична матриця модифікувалася шляхом інтеграції гречаного складника.

Для виготовлення закваски використовували два варіанти борошна: чисто гречане та суміш гречаного з житнім у співвідношенні 1:1. Курагу, подрібнену блендером додавали у кількості 10 % від маси борошна, або не додавали зовсім. Для кожного варіанту закваски готували стартову суміш із відповідного борошна (або суміші борошна) та води кімнатної температури у співвідношенні 1:1 (за масою). Перший варіант: 50 г гречаного борошна, 60 мл води (гречане борошно вимагає дещо більше води); другий варіант: 50 г гречаного борошна, 60 мл води, 5 г подрібненої кураги; третій варіант: 25 г гречаного борошна, 25 г житнього борошна, 50 мл води; четвертий варіант: 25 г гречаного борошна, 25 г житнього борошна, 50 мл води, 5 г подрібненої кураги. У зразках, що передбачали добавку, лише один раз на початку етапу додавали подрібнену у блендері курагу. Суміш залишали за температури 25 °C для спонтанного бродіння. Через 48 годин проводили перше підживлення: видаляли половину маси, додавали свіжу порцію відповідного борошна (або суміші) та води (знову у співвідношенні 1:1). Процедуру підживлення повторювали щоденно протягом 5-7 діб до формування стабільного мікробного ценозу.

Для встановлення моменту завершення дозрівання ферментованої суміші орієнтувалися на сукупність органолептичних показників. Процес вважали завершеним, якщо спостерігалася інтенсивне газоутворення у вигляді дрібної пористості, суттєве зростання маси у просторі, а також поява специфічного гостро-свіжого аромату, притаманного молочнокислому бродінню. Таким чином, сформовано чотири дослідні зразки закваски: Г – гречана закваска без кураги; Г + К – гречана закваска з додаванням кураги; ГЖ – гречано-житня закваска без кураги; ГЖ + К – гречано-житня закваска з додаванням кураги (рис. 1).

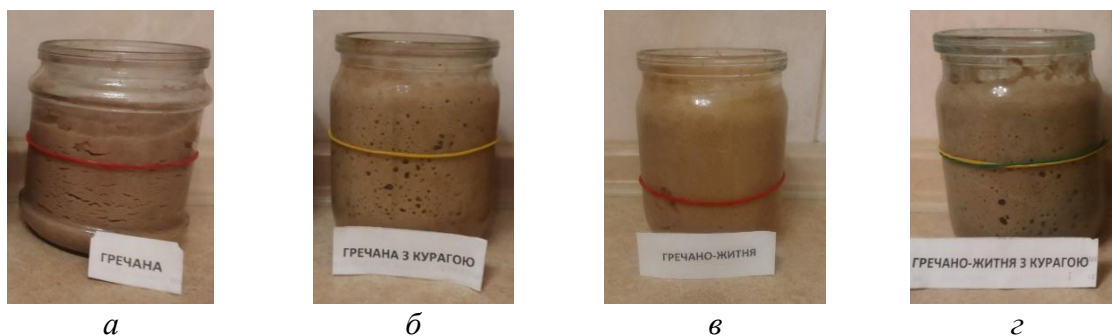


Рис. 1. Вигляд заквасок:

а – гречана; *б* – гречана з курагою; *в* – гречано-житня; *г* – гречано-житня з курагою.

Джерело: розроблено авторами.

Паралельно проводили дослідження оптимального складу борошняної суміші для випікання хліба. Було сформовано три дослідні зразки: у першому використано 20 % гречаного, 10 % пшеничного цільнозернового та 70 % пшеничного борошна вищого ґатунку; у другому – 15 % гречаного, 10 % пшеничного цільнозернового та 75 % пшеничного борошна вищого ґатунку; у третьому – 10 % гречаного, 10 % пшеничного цільнозернового та 80 % пшеничного борошна вищого ґатунку. До тіста додавали також дрібно нарізану курагу. Тісто для кожного зразка замішували за єдиною рецептурою: 500 г суміші борошна, 100 г готової закваски, 300 мл води та 10 г солі. Таким чином, було підготовлено чотири варіанти заквасок і три склади борошняної суміші для випікання хліба, що у сукупності забезпечило отримання 12 дослідних зразків.

Для дослідження органолептичних показників хліба враховували два чинники – склад борошняної суміші та тип закваски. Органолептичні показники якості хліба визначали відповідно до ДСТУ 9188:2022 «Вироби хлібобулочні. Органолептичне оцінювання показників якості», який регламентує оцінку зовнішнього вигляду, кольору скоринки, стану м'якушки, смаку та запаху. У табл. 1 наведено результати органолептичної оцінки дослідних зразків хліба, виготовлених на різних заквасках і з використанням різної кількості гречаного борошна. Оцінювання здійснювали за 5-бальною шкалою.

Таблиця 1 – Органолептичні показники хліба залежно від типу закваски та вмісту гречаного борошна

Назва досліду	Оцінка органолептичних показників якості хліба із гречаним борошном (бал)				
	Зовнішній вигляд	Колір скоринки	Стан м'якушки	Смак і запах	Загальна кількість балів
1	2	3	4	5	6
Дослід 1. Хліб із 20% гречаного борошна на гречаній заквасці	3,0	3,0	3,5	3,0	12,5
Дослід 2. Хліб із 20% гречаного борошна на гречаній заквасці з додаванням кураги	3,6	3,5	3,7	3,6	14,4
Дослід 3. Хліб із 20% гречаного борошна на гречано-житній заквасці	3,5	3,4	3,6	3,7	14,2
Дослід 4. Хліб із 20% гречаного борошна на гречано-житній заквасці з додаванням кураги	3,8	3,7	3,8	3,9	15,2
Дослід 5. Хліб із 15% гречаного борошна на гречаній заквасці	4,0	4,2	4,0	4,0	16,2
Дослід 6. Хліб із 15% гречаного борошна на гречаній заквасці з додаванням кураги	4,3	4,4	4,2	4,4	17,3
Дослід 7. Хліб із 15% гречаного борошна на гречано-житній заквасці	4,2	4,3	4,1	4,3	16,9

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6
Дослід 8. Хліб із 15% гречаного борошна на гречано-житній заквасці з додаванням кураги	4,5	4,6	4,4	4,6	18,1
Дослід 9. Хліб із 10% гречаного борошна на гречаній заквасці	4,6	4,6	4,5	4,6	18,3
Дослід 10. Хліб із 10% гречаного борошна на гречаній заквасці з додаванням кураги	4,8	4,8	4,7	4,8	19,1
Дослід 11. Хліб із 10% гречаного борошна на гречано-житній заквасці	4,7	4,7	4,6	4,7	18,7
Дослід 12. Хліб із 10% гречаного борошна на гречано-житній заквасці з додаванням кураги	4,9	5,0	4,9	5,0	19,8

Джерело: розроблено авторами.

Результати показали, що кращі показники якості хліба отримано при складі тіста з 10 % гречаного борошна. Вироби мали правильну форму, рівномірно забарвлену скоринку, еластичний пористий м'якуш та гармонійний смак і запах. Збільшення частки гречаного борошна до 20 % знижувало органолептичну оцінку через менш виражений підйом тіста та щільніший м'якуш.

Тип закваски також мав суттєвий вплив на якість виробів. Хліб на гречаній заквасці (Г) характеризувався правильною формою та легким присмаком гречки, проте мав менш виражений підйом і щільніший м'якуш. Додавання кураги (Г + К) не лише посилювало ароматичний профіль, а й підвищувало загальні органолептичні показники порівняно з гречано-житньою закваскою без кураги, забезпечуючи більш гармонійний смак та еластичнішу структуру м'якушки. Гречано-житня закваска (ГЖ) сприяла стабільній формі виробів, рівномірному забарвленню скоринки та вираженому присмаку гречки з легкою кислинкою. Найкращі органолептичні показники отримано у варіанті гречано-житньої закваски з курагою (ГЖ + К) з 10 % гречаного борошна (19,8): вироби мали правильну форму, хрустку рівномірно забарвлену скоринку, пористий еластичний м'якуш із фруктовими включеннями та гармонійний смак із легкою кислинкою. На рис. 2 представлено зовнішній вигляд та зрізи хлібин, випечених на різних заквасках при складі тіста з 10 % гречаного борошна.

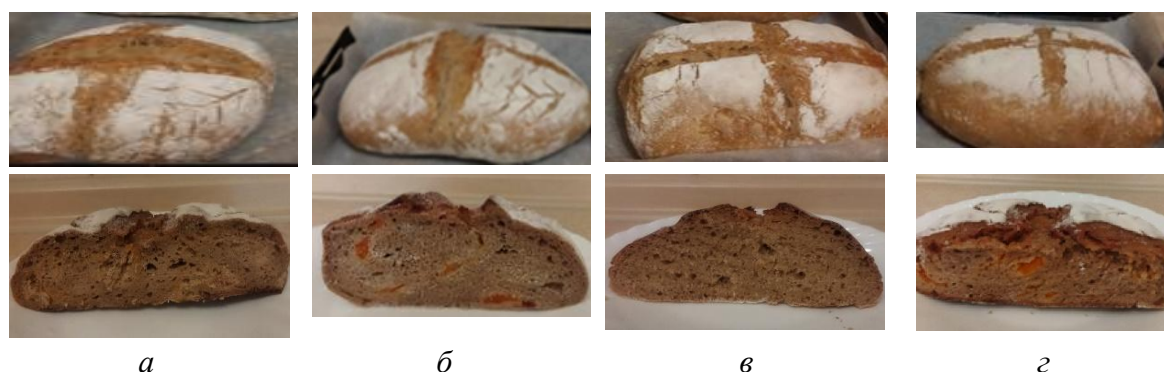


Рис. 2. Зовнішній вигляд та зріз хлібин, випечених на різних заквасках:

а – хліб на заквасці гречаній; б – хліб на заквасці гречаній з курагою;

в – хліб на заквасці гречано-житній; г – хліб на заквасці гречано-житній з курагою

Джерело: розроблено авторами.

Для одержання більш комплексного результату органолептична оцінка була доповнена визначенням таких фізико-хімічних показників як: титрована кислотність, антиоксидантна активність, вологість хліба. Усі подальші дослідження проводили зі зразками хліба, випеченими з використанням борошняної суміші з 10 % вмістом гречаного борошна.

Титрована кислотність, визначена як кількість мілілітрів 0,1 М розчину натрію гідроксиду (NaOH), необхідна для нейтралізації кислот у 100 г продукту, є інтегральним показником накопичення органічних кислот у процесі бродіння та дозволяє оцінити активність молочнокислих бактерій, стабільність мікробного ценозу закваски, перебіг бродіння тіста та якість готового хліба (смак, стійкість до пліснявіння). Аналіз проводили для закваски, тіста та хліба відповідно до ДСТУ 4582:2006 «Хліб та хлібобулочні вироби». Додатково контролювали активну кислотність (рН – показник концентрації іонів водню у водній витяжці). Для закваски проби відбирали на момент її технологічної готовності (через 72 год культивування при 25 °С) окремо для кожного з чотирьох зразків: Г, Г+К, ГЖ, ГЖ+К. Наважку закваски масою 10,0 г змішували з 90 мл дистильованої води, ретельно перемішали, витримували 10 хв і фільтрували. У 10 мл фільтрату додавали 2-3 краплі 1 % спиртового розчину фенолфталеїну та титрували 0,1 М розчином натрію гідроксиду (NaOH) до появи стійкого слабко-рожевого забарвлення. ТК виражали в градусах за формулою $TК = V * 10$, де V – об'єм титранту, мл. Для тіста зразки відбирали після 3 год бродіння (перед формування) та аналізували аналогічно. Для хліба м'якуш без скоринки подрібнювали, відбивали наважку 10,0 г через 2-4 год після випікання, готували водну витяжку та титрували за тією ж методикою. Усі вимірювання виконували в трьох повтореннях.

Проведені вимірювання дали змогу оцінити зміни кислотності закваски, тіста та хліба залежно від складу зразків. Отримані результати наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Титрована та активна кислотність (рН) закваски, тіста та хліба

Зразок	Закваска (°Н, рН)	Тісто (°Н, рН)	Хліб (°Н, рН)
Г	11,2 ± 0,8 (4,4 ± 0,1)	10,3 ± 0,7 (4,7 ± 0,1)	8,1 ± 0,6 (5,1 ± 0,1)
Г + К	14,1 ± 0,9 (4,1 ± 0,1)	13,2 ± 0,1 (4,4 ± 0,1)	10,4 ± 0,7 (4,8 ± 0,1)
ГЖ	13,3 ± 0,7 (4,2 ± 0,1)	11,4 ± 0,1 (4,5 ± 0,1)	9,2 ± 0,5 (4,9 ± 0,1)
ГЖ + К	16,2 ± 0,9 (3,9 ± 0,1)	15,1 ± 0,8 (4,2 ± 0,1)	12,3 ± 0,7 (4,6 ± 0,1)

Примітка. Результати наведено як середнє значення ± стандартне відхилення (n = 3). Статистичну обробку виконано методом ANOVA (p < 0,05).

Джерело: розроблено авторами.

Додавання кураги та використання гречано-житньої закваски підвищує титровану кислотність порівняно з контрольним зразком. Найвищі показники зафіксовано для гречано-пшеничного хліба на гречано-житній заквасці з курагою, що свідчить про активніший перебіг бродіння та стабільність мікробного ценозу.

Визначення антиоксидантної активності проводили методом DPPH (2,2-дифеніл-1-пікрилгідразил). Метод ґрунтується на здатності сполук, екстрагованих зі зразків, нейтралізувати вільний радикал DPPH (2,2-дифеніл-1-пікрилгідразил – стабільний радикал, що використовується для оцінки антиоксидантної активності), що є показником функціональної цінності продукту. Аналіз проводили для закваски та готового хліба за міжнародним стандартом ISO 14502-1:2005. Зразки готували методом екстракції: 1,00 г подрібненого зразка (окремо для закваски та м'якушу хліба кожного з чотирьох варіантів) змішували з 10 мл 70 % метанолу, екстрагували на ультразвуковій бані 30 хв при кімнатній температурі та центрифугували (3000 об/хв, 10 хв). До 0,1 мл отриманого екстракту додавали 2,9 мл свіжоприготовленого 0,1 М розчину DPPH у метанолі, перемішували, витримували 30 хв у темряві, після чого вимірювали оптичну густину (А) зразка – абсорбція зразка та оптичну густину контрольного розчину при 517 нм. Антиоксиданту активність виражали у відсотках інгібування DPPH.

Результати визначення антиоксидантної активності висвітлені в табл. 3.

Таблиця 3 – Антиоксидантна активність закваски та хліба (інгібування DPPH, %)

Зразок	Закваска	Хліб
Г	45,3 ± 3,2	35,1 ± 2,8
Г + К	59,8 ± 3,5	49,7 ± 3,0
ГЖ	53,2 ± 2,9	43,4 ± 2,7
ГЖ + К	69,6 ± 3,8	60,2 ± 3,4

Примітка: результати наведено як середнє значення ± стандартне відхилення ($n = 3$). Статистичну обробку виконано методом ANOVA ($p < 0,05$).

Джерело: розроблено авторами.

Включення кураги разом із застосуванням гречано-житньої закваски сприяє підвищенню антиоксидантної активності в порівнянні з контрольним зразком. Максимальні показники спостерігаються саме для гречано-житнього хліба з курагою, що свідчить про розширення оздоровчих характеристик продукту.

Вологість хліба визначали за ДСТУ 7045:2009 методом висушування до постійної маси. Для контрольного зразка (хліб, випечений на гречаній заквасці без кураги) вологість становила 40-45 %. Додавання кураги до закваски (зразок Г + К) підвищило вологість хліба до 45-50 %. Заміна у заквасці половини гречаного борошна на житнє (зразок ГЖ) підвищило вологість виробу до 42-47 %. Найвищу вологість (48-53 %) зафіксовано для хліба, виготовленого на гречано-житній заквасці з курагою.

Висновки. Результати дослідження підтверджують, що застосування закваски є ефективним біотехнологічним інструментом молекулярної гастрономії для цілеспрямованого моделювання сенсорних та функціональних властивостей хліба. Використання гречаного та гречано-житнього борошна забезпечує підвищену харчову цінність виробів завдяки вмісту поліфенольних сполук, білків і мінералів, а також сприяє стабільному розвитку мікробіоти. Додавання житнього борошна у співвідношенні 1:1 до гречаного створює сприятливі умови для активності молочнокислих бактерій і дріжджів, що забезпечує збалансоване формування кислотності та виражений ароматичний профіль.

Найкращим складом борошняної суміші для випікання хліба визначено поєднання пшеничного борошна вищого ґатунку (80 %), пшеничного цільнозернового (10 %) та гречаного (10 %), яке дозволяє отримати хліб з еластичною структурою м'якушки, гармонійним смаком і високим рівнем антиоксидантної активності. Додавання кураги додатково збагачує вироби фруктовими нотами та посилює їхні функціональні властивості.

Використання подрібненої кураги в рецептурному складі виступає не лише як інструмент смакової диверсифікації, а і як потужний чинник біологічної інтенсифікації продукту. Цей інгредієнт трансформує класичну зернову основу, додаючи їй нових функціональних властивостей.

Список використаних джерел

1. De Vuyst, L., Neysens, P. (2005). The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1–3), 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.012>.
2. Corsetti, A., Settanni, L. (2007). Lactobacilli in sourdough fermentation. *Food Research International*, 40(5), 539–558. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.11.001>.
3. Alkay, Z., Alkay, R., Dertli, E., Kökten, K., & Durak, M. Z. (2023). Rheological, textural and physicochemical properties of buckwheat sourdough bread prepared with different lactic acid bacteria strains. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, e5643. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5643>.
4. Moroni, A. V., Arendt, E. K., Dal Bello, F. (2011). Biodiversity of lactic acid bacteria and yeasts in spontaneously-fermented buckwheat and teff sourdoughs. *Food Microbiology*, 28(3), 497–502. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.016>.
5. Moroni, A. V., Dal Bello, F., Zannini, E., Arendt, E. K. (2011). Impact of sourdough on buckwheat flour, batter and bread: Biochemical, rheological and textural insights. *Journal of Cereal Science*, 54(2), 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.04.008>.

6. Axel, C., Brosnan, B., Zannini, E., et al. (2016). Antifungal activity of lactic acid bacteria and their metabolites against food spoilage fungi. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.020>.
7. Kasegn, M.M., Abrha, G.T., Weldemichael, M.Y. et al. (2024). Characterization of wild yeasts isolated from cereal sourdoughs and their potential for leavening wheat dough. *Discover Food*, 4. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00072-0>.
8. Dobre, A. A., Cucu, E. M., & Belc, N. (2024). Influence of technological parameters on sourdough starter obtained from different flours. *Applied Sciences*, 14(11), 4955. <https://doi.org/10.3390/app14114955>.
9. Moroni, A. V., Zannini, E., Sensidoni, G., Arendt, E. K. (2012). Exploitation of buckwheat sourdough for the production of wheat bread. *European Food Research and Technology*, 235(4), 659–668. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1790-z>.
10. Савченко, О. М., & Калініченко, Ю. Д. (2019). Технологія виготовлення житньо-пшеничного хліба на заквасках із використанням базилика. *Технічні науки та технології*, 4(18), 14–19.
11. Кухтин, М., Кравченко, К., Сельський, В., Покотило, О., Вічко, О., Копчак, Н., & Хмельяр, А. (2022). Оцінка спонтанного бродіння з вмістом базилика в технології виробництва житньо-пшеничного хліба. *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Харчові технології*, 24 (97), 14-19. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9703>.
12. Zhou, X., Duan, M., Cui, L., Ouyang, B., Zhou, Y., & Li, Y. (2023). Fermentation characteristics of Tartary buckwheat sourdough by exogenous lactic acid bacteria and quality change of frozen dough bread. *Shipin Kexue (Food Science)*, 44(12), 141–149. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20230286604>.
13. Lorusso, A., Coda, R., Montemurro, M., & Rizzello, C. G. (2020). Use of selected lactic acid bacteria and quinoa flour for manufacturing novel foods rich in proteins and bioactive peptides. *Food Science and Technology International*, 26(4), 307–317. <https://doi.org/10.1177/1082013219895357>.
14. Nsoying, S. D., Fischer, S., & Becker, T. (2018). Investigating on the fermentation behavior of six lactic acid bacteria strains in barley malt wort reveals limitation in key amino acids and buffer capacity. *Food Microbiology*, 73, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.01.010>.
15. Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., Hutkins, R., & Sanders, M. E. (2017). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>.
16. Mykolenko, S., Lebedenko, T., & Ziubrovskiy, A. (2023). Traditional Ukrainian bread making. In M. Garcia-Vaquero, K. Pastor, G. E. Orhun, A. McElhatton, & J. M. F. Rocha (Eds.), *Traditional European breads* (pp. xx–xx). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23352-4_18.
17. Gobbetti, M., Rizzello, C. G., Di Cagno, R., & De Angelis, M. (2014). How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*, 37, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.012>.
18. Pétel, C., Onno, B., Prost, C. (2017). Sourdough volatile compounds and their contribution to bread quality. *Food Chemistry*, 217, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.062>.
19. Kocková, M., & Valík, L. (2017). Properties of crackers with buckwheat sourdough. *Acta Chimica Slovaca*, 10(2), 98–103. <https://doi.org/10.1515/acs-2017-0025>.

References

1. De Vuyst, L., Neysens, P. (2005). The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1–3), 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.012>.
2. Corsetti, A., Settanni, L. (2007). Lactobacilli in sourdough fermentation. *Food Research International*, 40(5), 539–558. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.11.001>.
3. Alkay, Z., Alkay, R., Dertli, E., Kökten, K., & Durak, M. Z. (2023). Rheological, textural and physicochemical properties of buckwheat sourdough bread prepared with different lactic acid bacteria strains. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, e5643. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5643>.
4. Moroni, A. V., Arendt, E. K., Dal Bello, F. (2011). Biodiversity of lactic acid bacteria and yeasts in spontaneously-fermented buckwheat and teff sourdoughs. *Food Microbiology*, 28(3), 497–502. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.016>.

5. Moroni, A. V., Dal Bello, F., Zannini, E., Arendt, E. K. (2011). Impact of sourdough on buckwheat flour, batter and bread: Biochemical, rheological and textural insights. *Journal of Cereal Science*, 54(2), 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.04.008>.
6. Axel, C., Brosnan, B., Zannini, E., et al. (2016). Antifungal activity of lactic acid bacteria and their metabolites against food spoilage fungi. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.020>.
7. Kasegn, M.M., Abrha, G.T., Weldemichael, M.Y. et al. (2024). Characterization of wild yeasts isolated from cereal sourdoughs and their potential for leavening wheat dough. *Discover Food*, 4. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00072-0>.
8. Dobre, A. A., Cucu, E. M., & Belc, N. (2024). Influence of technological parameters on sourdough starter obtained from different flours. *Applied Sciences*, 14(11), 4955. <https://doi.org/10.3390/app14114955>.
9. Moroni, A. V., Zannini, E., Sensidoni, G., Arendt, E. K. (2012). Exploitation of buckwheat sourdough for the production of wheat bread. *European Food Research and Technology*, 235(4), 659–668. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1790-z>.
10. Savchenko, O. M., & Kalinichenko, Yu. D. (2019). Tekhnolohiia vyhotovlennia zhytnio-pshenychnoho khliba na zakvaskakh iz vykorystanniam bazylika [Technology of rye-wheat bread production on sourdoughs with basil]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii Technical Sciences and Technologies*, 4(18), 14–19.
11. Kukhtyn, M., Kravcheniuk, K., Selskyi, V., Pokotylo, O., Vichko, O., Kopchak, N., & Khmeliar, A. (2022). Otsinka spontannoho brodinnia z vmistom bazylika v tekhnolohii vyrobnytstva zhytnio-pshenychnoho khliba [Evaluation of spontaneous fermentation with basil content in the technology of rye-wheat bread production]. *Naukovyi visnyk LNU veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii. Serii: Kharchovi tekhnolohii – Scientific Bulletin of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 24(97), 14–19. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9703>.
12. Zhou, X., Duan, M., Cui, L., Ouyang, B., Zhou, Y., & Li, Y. (2023). Fermentation characteristics of Tartary buckwheat sourdough by exogenous lactic acid bacteria and quality change of frozen dough bread. *Shipin Kexue (Food Science)*, 44(12), 141–149. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20230286604>.
13. Lorusso, A., Coda, R., Montemurro, M., & Rizzello, C. G. (2020). Use of selected lactic acid bacteria and quinoa flour for manufacturing novel foods rich in proteins and bioactive peptides. *Food Science and Technology International*, 26(4), 307–317. <https://doi.org/10.1177/1082013219895357>.
14. Nsonging, S. D., Fischer, S., & Becker, T. (2018). Investigating on the fermentation behavior of six lactic acid bacteria strains in barley malt wort reveals limitation in key amino acids and buffer capacity. *Food Microbiology*, 73, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.01.010>.
15. Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., Hutkins, R., & Sanders, M. E. (2017). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>.
16. Mykolenko, S., Lebedenko, T., & Ziubrovskyi, A. (2023). Traditional Ukrainian bread making. In M. Garcia-Vaquero, K. Pastor, G. E. Orhun, A. McElhatton, & J. M. F. Rocha (Eds.), *Traditional European breads* (pp. xx–xx). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23352-4_18.
17. Gobbetti, M., Rizzello, C. G., Di Cagno, R., & De Angelis, M. (2014). How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*, 37, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.012>.
18. Pétel, C., Onno, B., Prost, C. (2017). Sourdough volatile compounds and their contribution to bread quality. *Food Chemistry*, 217, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.062>.
19. Kocková, M., & Valík, L. (2017). Properties of crackers with buckwheat sourdough. *Acta Chimica Slovaca*, 10(2), 98–103. <https://doi.org/10.1515/acs-2017-0025>.

Дата першого надходження статті до видання: 07.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.03.2026

УДК 664.6:579.864:615.3

Myroslav Bomba¹, Larysa Fedyna², Olexandra Maxymets³, Yuriy Maksymets⁴

¹Doctor of Sciences, Agricultural, Professor of the Department of Hotel and Restaurant Business and Food Technology
Ivan Franko Lviv National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: mirbomba55@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7865-2111>

ResearcherID: [PLS-3672-2026](https://orcid.org/0000-0001-7865-2111). Scopus Author ID: [58317716100](https://orcid.org/0000-0001-7865-2111)

²PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Hotel and Restaurant Business and Food Technology
Ivan Franko Lviv National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: lofedyna@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6597-674X>

ResearcherID: [M-2846-2018](https://orcid.org/0000-0001-6597-674X). Scopus Author ID: [8574229000](https://orcid.org/0000-0001-6597-674X)

³Senior Teacher of the Department of Hotel and Restaurant Business and Food Technology
Ivan Franko Lviv National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: maxymezl@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5302-3050>

⁴PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Enterprise Economics
Ivan Franko Lviv National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: maxymezj@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9693-4147>

**SOURDOUGH AS A BIOTECHNOLOGICAL TOOL
IN MOLECULAR GASTRONOMY**

The study considers sourdough as a biotechnological tool of molecular gastronomy. The influence of the type of flour used for sourdough cultivation (buckwheat and buckwheat–rye mixture) as well as the addition of dried apricots was investigated in relation to the formation of organoleptic and physicochemical properties of bread. Four sourdough variants were prepared: buckwheat without apricots, buckwheat with apricots, buckwheat–rye without apricots, and buckwheat–rye with apricots. The technological process was standardized, and bread quality was assessed using sensory evaluation and physicochemical indicators. The results demonstrated that the optimal flour composition for bread baking is a mixture of 80% refined wheat flour, 10% whole-grain wheat flour, and 10% buckwheat flour. This formulation ensures proper loaf shape, evenly colored crust, elastic porous crumb, and balanced taste. The addition of dried apricots improved the aromatic profile by introducing pleasant fruity notes, while also increasing titratable acidity and antioxidant activity. The highest acidity values were observed in buckwheat–rye sourdough with apricots, indicating more active fermentation and greater microbial stability. Organoleptic evaluation confirmed that bread with 15% buckwheat flour achieved the best quality scores compared to samples with higher buckwheat content, which resulted in denser crumb and weaker dough rise. Physicochemical analysis supported these findings, showing that sourdough fermentation contributes to enhanced texture, prolonged freshness, and improved nutritional value. The study highlights the potential of sourdough as a controllable biotechnological instrument in molecular gastronomy. By combining traditional fermentation techniques with functional ingredients such as buckwheat flour and dried apricots, it is possible to design bread with improved sensory properties, higher biological value, and health-promoting effects. These findings correspond to modern trends in healthy nutrition and the development of “clean label” bakery products.

Keywords: sourdough; buckwheat flour; wheat flour; dried apricots; lactic acid bacteria; bread; molecular gastronomy.

Fig.: 2. References: 19.