

APPLICATION OF FLAX SOURDOUGH SPONTANEOUS FERMENTATION IN RUSTIC BREAD PRODUCTION

Ie. Godunko, A. Zabroda, Yu. Bondarenko, O. Bilyk

National University of Food Technologies

Key words:

*Rustic bread,
Flax sourdough
Lactic acid bacteria
Spontaneous fermentation
Dough
Flax seeds*

Article history:

Received 03.07.2024

Received in revised form
19.07.2024

Accepted 13.08.2024

Corresponding author:

O. Bilyk

E-mail:

bilyklena@gmail.com

Citation: Годунко Є. В.,
Заброда А. В., Бондарен-
ко Ю. В., Білик О. А.
(2024). Застосування лля-
ної закваски спонтанного
бродиння у виробництві
рустикального хліба. *Нау-
кові праці НУХТ*, 30(4),
111—131.

DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-4-11

ABSTRACT

The growing consumer interest in rustic bakery products, as well as the desire of industrial manufacturers to produce products with exclusive taste and aromatic profiles, leads to an increased use of spontaneous fermentation sourdoughs in bread production.

In this study, crushed flax seeds of the "Svitlozir" variety were used to create a spontaneous fermentation sourdough. It was found that the cycle for creating flax sourdough with a moisture content of 65—67% and acidity of 8—10 degrees took 72 hours and included three refreshments with a nutrient mixture. The main nutrient substrate for the microflora of the flax sourdough was the carbohydrate complex of flax, represented by water-soluble polysaccharides (neutral arabinoxylan and acidic rhamnogalacturonan). It was established that spontaneous flax sourdough did not have leavening power and in the dough system functioned as a sourdough acidifier, carrier of flavor and aromatic compounds. There are also physiologically functional ingredients in it contained in flax.

In the production cycle of spontaneous flax sourdough, it is recommended to refresh 50% of the mature sourdough with an equivalent amount of a nutrient mixture made of crushed flax and water every 24 hours of fermentation. The recommended dosage of spontaneous flax sourdough for wheat bread production is up to 20% of the flour weight.

Adding crushed flax seeds as part of the sourdough contributed to obtaining products with more intense flavor and aromatic properties, improved crumb elasticity and structure, and caused better shape stability of the products. The use of flax sourdough helped reduce crumb crumbliness during storage.

The application of 20% flax sourdough and 5% flax seeds to the flour weight in the production of rustic bread allows the products to gain functional properties and meet 47% of the daily requirement for polyunsaturated fatty acids and 36% of the daily requirement for dietary fiber when consuming the daily norm of bread in Ukraine — 277 g.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-11

ЗАСТОСУВАННЯ ЛЛЯНОЇ ЗАКВАСКИ СПОНТАННОГО БРОДІННЯ У ВИРОБНИЦТВІ РУСТИКАЛЬНОГО ХЛІБА

Є. В. Годунко, А. В. Заброда, Ю. В. Бондаренко, О. А. Білик

Національний університет харчових технологій

Зростання інтересу споживачів до рустикальних хлібобулочних виробів, а також прагнення індустріальних виробників до освоєння випуску продукції, що має ексклюзивні смакові та ароматичні профілі, призводять до збільшення застосування заквасок спонтанного бродіння у виробництві хліба.

Для виведення закваски спонтанного бродіння використано подрібнене насіння льону сорту «Світлозір». Встановлено, що цикл розведення лляної закваски вологістю 65—67% та кислотністю 8—10 град становить 72 год та передбачає три поновлення поживною сумішшю. Основним живильним субстратом для мікрофлори лляної закваски є вуглеводний комплекс льону, представлений водорозчинними полісахаридами (нейтральний арабіноксилан та кислий рамногалактуронан). Встановлено, що спонтанна лляна закваска у тістовій системі виконуватиме функції закваски-підкислювача, носія смакових та ароматичних сполук, а також фізіологічно-функціональних інгредієнтів, що містяться в льоні.

У виробничому циклі введення спонтанної лляної закваски передбачено здійснювати поновлення 50% стиглої закваски еквівалентною кількістю поживної суміші з подрібненого льону та води кожні 24 год ферментації. Рекомендоване дозування лляної закваски спонтанного бродіння для виробництва пшеничного хліба становить до 20% до маси борошна.

Внесення подрібненого насіння льону у складі закваски сприяє отриманню виробів з більш інтенсивними смако-ароматичними властивостями, покращеною еластичністю та структурою м'якушки, формостійкістю виробів. Застосування лляної закваски сприяє зменшенню кришкуватості м'якушки під час зберігання.

Застосування у виробництві рустикального хліба 20% до маси борошна лляної закваски та 5% лляного насіння надає виробам функціональних властивостей і задовольняє добову потребу в поліненасичених жирних кислотах на 47% та харчових волокнах на 36% при споживанні добової норми хліба в Україні — 277 грам.

Ключові слова: рустикальний хліб, лляна закваска, молочнокислі бактерії, спонтанне бродіння, тісто, насіння льону.

Постановка проблеми. Тенденція споживання корисних і здорових харчових продуктів, що відзначається в сучасному суспільстві, дала поштовх активному розвитку виробництва рустикальних хлібобулочних виробів. Поняття «рустикальний хліб» об'єднує такі вироби, як ремісничі, артизанські (сільські), домашні, виготовлені вручну. За уявленнями споживачів такий хліб більш корисний, безпечний і смачний (Kumar, Talwar, Murphy, Kaur, & Dhir, 2021; Aprile, Caputo, & Nayga Jr., 2016; Lingham, Hill, & Manning, 2022; Maurice, Saint-Eve, Pernin, Leroy, & Souchon, 2022).

У приготуванні тіста для рустикальних хлібобулочних виробів переважно використовують закваски. При цьому розрізняють закваски, що мають високу бродильну активність і виконують функції біологічного розпушувача для тіста без рецептурного внесення дріжджів, та закваски, що не мають бродильної активності, тому їх застосовують у рецептурі дріжджових хлібобулочних виробів для підвищення кислотності тіста та як носій смакових та ароматичних речовин (De Vuyst, Vrancken, Ravyts, Rimaux, & Weckx, 2009).

Традиційно у виробництві хлібобулочних виробів застосовують закваски з пшеничного і житнього борошна, однак зростаючий інтерес до виробів, що виготовленні з додаванням інших видів борошна, призвів до диверсифікації ринку хлібобулочних виробів і необхідності застосування заквасок з нетрадиційної для хлібопекарського виробництва сировини, адже відомо, що закваски, виготовлені з інших видів борошна, є ефективним технологічним заходом для покращання й урізноманітнення сенсорних характеристик хлібобулочних виробів.

Одним із видів нетрадиційної сировини, який включають до рецептур хлібобулочних виробів з підвищеною харчовою цінністю та функціональними властивостями, є насіння льону.

Відомо, що ціле насіння льону (сухе, гідратоване, пророщене), а також продукти його переробки (борошно, шрот, подрібнене насіння різних фракцій) застосовують у виробництві широкого асортименту хлібобулочних виробів (Bondarenko та ін., 2019; Бондаренко, Білик, Кочубей-Литвиненко, & Андронович, 2020; Дробот, Іжевська, Тесля, & Бондаренко, 2016; Краєвська, & Піддубний, 2023; Jiang, Wang, & Zhou, 2022; Codina & Mironeasa, 2016; Marpalle, Sonawane, & Arya, 2014). Поряд з цим актуальним є проведення досліджень щодо використання насіння льону як сировини для отримання закваски спонтанного бродиння для виготовлення рустикального хліба.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виробництво рустикальних хлібобулочних виробів, зазвичай, організовують у пекарнях, однак, зважаючи на зростаючий попит на такі вироби, в останні роки їх потокове виробництво налагоджують також на потужних індустріальних підприємствах завдяки встановленню спеціалізованих ліній.

Характерними ознаками рустикального хліба є хрустка, жорстка, добре забарвлена скоринка, нерівномірно пориста м'якушка, неідеальна форма. Рустикальні хлібобулочні вироби відрізняються від традиційних виробів промислового виробництва своєю унікальністю смаку, аромату й текстурою м'якушки. Поверхня таких виробів може бути оздоблена різними видами посипок або мати надрізи як прості, так і у вигляді більш складних візерунків. Випікання рустикальних виробів традиційно здійснюють у печах з кам'яним подом, а технологія базується на довготривалому процесі бродиння тіста або застосуванні заквасок (Hamelman, 2021; Лебеденко, Новічкова, Соколова, Місержи, & Тулейбич, 2011).

Застосування закваски у виробництві хлібобулочних виробів є давнім технологічним заходом для розпушення тіста та надання особливого смаку й аромату виробам.

Закваска — це напівфабрикат хлібопекарського виробництва, який отримують зброджуванням суміші з борошна та води молочнокислими бактеріями й дріжджами (De Vuyst та ін., 2014). Під дією цих мікроорганізмів у напівфабрикатах

відбувається процес спиртового і молочнокислого бродіння. У результаті утворюються такі продукти, як етиловий спирт, діоксид вуглецю (забезпечують розпушення тіста), органічні кислоти (зумовлюють підкислення тіста та запобігають мікробіологічному псуванню виробів), а також інші сполуки, що сприяють формуванню еластичної м'якушки, сповільнюють черствіння та забезпечують неповторний насичений аромат готових виробів (Gänzle, 2014).

До XX ст. закваску використовували як єдиний розпушувач тіста для отримання хліба з розвинуеною м'якушкою. Однак розвиток в кінці XIX ст. промислового виробництва хлібопекарських дріжджів зумовив їх впровадження у виготовлення хлібобулочних виробів як розпушувача тіста, що сприяло спрощенню технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів. До середини XX ст. хлібопекарські дріжджі як біологічний розпушувач тістових напівфабрикатів замінюють закваску у промисловому виробництві хліба, за винятком виробів з житнього борошна, для яких підкислення тіста закваскою є технологічною необхідністю для інгібування амілаз, а також виробів, що випікали в дрібних кустарних пекарнях (Cappelle, Guylaine, Gänzle, & Gobetti, 2023; Gänzle, & Zheng, 2019).

Останніми десятиліттями хлібобулочні вироби, виготовленні з використанням заквасок, набувають популярності серед споживачів і тому зараз їх випікання здійснюється не тільки в умовах ремісничих виробництв, а й у масштабах індустріальних підприємств від малої до великої потужності. Наприклад, в європейських країнах від 30 до 50% від всього обсягу виробленого хліба припадає на вироби, виготовлені з використанням заквасок (Gobetti, Minervini, Pontonio, Di Cagno, & De Angelis, 2016). Однією з причин цього є те, що сьогодні закваску розглядають не тільки з позиції її біотехнологічних властивостей як розпушувача та підкислювача тіста, а також з позиції виявлених у ній функціональних властивостей покращувача харчової та фізіологічної цінності хлібобулочних виробів. Використання заквасок сприяє зниженню глікемічного індексу готових виробів, покращанню біодоступності основних нутрієнтів, синтезу нових корисних речовин (вітамінів, пептидів, похідних амінокислот, *екзополісахаридів*), підвищенню засвоєння мінеральних речовин, зниженню вмісту антихарчових речовин. Науковці відзначають, що засвоюваність хліба, виготовленого на заквасці, підвищується на 16%, порівняно з хлібом, виготовленим на хлібопекарських дріжджах (*Saccharomyces cerevisiae*) (D'Amico та ін., 2023; Kulathunga, Whitney, & Simsek, 2023; Fernández-Pérez, Paesani, & Gómez, 2020).

Вивчення заквасок з мікробіологічної точки зору почалося лише сто років тому. Сьогодні, за протоколом біотехнології отримання заквасок, їх, зазвичай, поділяють на три типи: закваски першого типу — це закваски, отримані внаслідок спонтанного самовільного бродіння, зумовленого мікрофлорою сировини, з якою замішаний напівфабрикат. Виведення закваски цього типу потребує щоденного поновлення напівфабрикату, що спонтанно забродив, живильним середовищем з борошна та води для підтримання активного метаболічного стану мікроорганізмів для досягнення закваскою прийнятних для випікання хліба органолептичних і фізико-хімічних показників. Процес виведення такої закваски залежить від виду сировини та параметрів навколишнього середовища і, зазвичай, триває 4—15 днів. Закваски цього типу застосовувалися у хлібопеченні до XX століття. Сьогодні такі

закваски готують у пекарнях малої потужності для крафтового виробництва хлібобулочних виробів. Недоліком закваски цього типу є те, що спонтанна мікробіота закваски не завжди може забезпечити контрольований перебіг бродіння напівфабрикатів. Закваски другого типу — це закваски, виготовлені з використанням ідентифікованих чистих культур молочнокислих бактерій і штамів дріжджів. За цього способу закваску виводять за розробленими технологічними інструкціями, що дає змогу отримати закваску зі стабільними прогнозованими та контрольованими показниками якості. Процес виведення заквасок цього типу триває 24—120 год. Ці закваски застосовують у промисловому виробництві хлібобулочних виробів. Закваски третього типу виробляють сушінням заквасок першого і другого типу, що надає можливість зберігати їх тривалий час і забезпечує зручність їх транспортування (Arora, 2021; Arslan-Tontul, Çetin-Babaoğlu, Aslan, & Tontul, 2024).

В Україні в традиційному промисловому виробництві хліба застосовують закваски, які готують з пшеничного й житнього борошна з використанням чистих культур молочнокислих бактерій і дріжджів. При цьому потрібно відзначити, що основною метою використання заквасок з пшеничного борошна (концентровані молочнокислі закваски, мезофільні молочнокислі закваски тощо) є підвищення кислотності тіста, надання більшої еластичності м'якушці (вона стає більш вологою на дотик), створення більш вираженого молочнокислого смаку й аромату хліба, розпушення тіста, зниження криштоватості та уповільнення черствіння виробів, запобігання ураження хліба картопляною хворобою. Житні закваски використовують для підвищення кислотності тіста із суміші житнього і пшеничного борошна, що є технологічно обґрунтованим для зниження активності амілолітичних і протеолітичних ферментів, які є активними в житньому тісті; для розпушення тіста (повного або часткового), формування реологічних властивостей тіста, створення смаку й аромату хліба та подовження термінів свіжості виробів (Mykhonik, & Hetman, 2022).

Сьогодні ринкові тенденції щодо розширення асортименту хлібобулочних виробів з покращеною харчовою цінністю, смаком і ароматом та/або з автентичними ознаками розширює застосування заквасок у виробництві хліба. Якщо раніше основною функцією заквасок було забезпечення процесів бродіння в тісті, то зараз закваски розглядаються як носій ароматичних і смакових сполук, а також поживних речовин, корисних для здоров'я, та як підкислювач, а процеси бродіння в тісті за їх використання будуть забезпечені рецептурним внесенням хлібопекарських дріжджів. Нині закваски використовуються в більшості європейських хлібобулочних виробів з першочерговою метою покращання якості хліба та його функціональних властивостей (Gänzle, & Zheng, 2019). Завдяки такому підходу в практиці хлібопечення та науковій літературі для виготовлення виробів з особливим смаком, високою поживною цінністю, збагачених фізіологічно-функціональними інгредієнтами, рекомендують використовувати закваску, отриману з нетрадиційної для хлібопекарського виробництва сировини (Rizzello, Coda, & Gobbetti, 2016). Такі закваски, як правило, застосовуються у виробництві хліба на пекарнях малої потужності, на яких перевага надається закваскам спонтанного бродіння внаслідок того, що процес її виведення не потребує купівлі чистих культур мікроорганізмів, а також забезпечується дискретність виробництва, економію виробничих площ і устаткування. Закваски спонтанного бродіння широко застосовують для

національних хлібобулочних виробів, виготовлених за автентичними технологіями. Наприклад, технологія традиційного італійського хліба Altamura базується на використанні закваски спонтанного бродіння з борошна твердих сортів пшениці, процес виведення якої передбачає не менше трьох поновлень, а в її складі ідентифіковано гетероферментативні молочнокислі бактерії *L. plantarum*, *L. Casei* і *paracasei*. Автентичний португальський хліб Brioa виготовляють на заквасці спонтанного бродіння з суміші житнього та кукурудзяного борошна. В країнах Балтії, Скандинавії, Німеччині поширеним у хлібопеченні є застосування заквасок спонтанного бродіння з житнього борошна, а у Франції — з пшеничного борошна (Arora, 2021; Rocha, & Malcata, 2012; Ricciardi, Parente, Piraino, Paraggio, & Romano, 2005).

Протягом останнього десятиліття науковцями розкрито потенціал широкого переліку нетрадиційних для хлібопекарського виробництва видів сировини для виведення заквасок спонтанного бродіння та їх застосування у виготовленні хліба. Хороші результати отримано за використання у складі заквасок спонтанного бродіння зернових культур (ячмінне, вівсяне, рисове, просяне, кукурудзяне, соргове та тефове борошно), псевдозернових (борошно гречки, амаранту, кіноа), бобових (квасолеве, горохове, нутове, сочевичне, люпинове борошно), олійних культур (конопляне борошно) (De Vuyst, Comasio, & Kerrebroeck, 2021). Поряд з цим відзначено, що в літературі обмаль інформації щодо застосування в біотехнології закваски такої цінної з точки зору вмісту фізіологічно-функціональних інгредієнтів олійної культури як насіння льону.

Останнім часом насіння льону набуло значної популярності серед споживачів завдяки доведеній позитивній дії його складових (α -ліноленової кислоти, лігнану, водорозчинних харчових волокон, токоферолу) у профілактиці серцево-судинних, онкологічних захворювань, діабету тощо або для покращання стану здоров'я при цих захворюваннях (Goyal, Sharma, Upadhyay, Gill, & Sihag, 2014; Mueed, Shibli, Jahangir, Jabbar, & Deng, 2023; Li та ін., 2023; Hirst, Dibrov, Hirst, & Pierce, 2023).

У заквасках спонтанного бродіння із злакових і псевдозлакових культур основним живильним субстратом для спонтанної мікробіоти є вуглеводна складова, представлена крохмалем і продуктами його гідролізу. Насіння льону відноситься до олійних культур і особливістю його вуглеводного складу є те, що він практично не містить крохмаль, а представлений в основному водорозчинним полісахаридним комплексом, що складається з нейтрального арабіноксилану (75%), що містить переважно ксилозу, арабінозу, галактозу, та кислого рамногалактуронану (25%), що складається з рамнози, галактози, галактуронової кислоти (Bernacchia, Preti, & Vinci, 2014).

Мета дослідження: дослідити процес виведення закваски спонтанного бродіння з подрібненого насіння льону та її використання у виготовленні хліба.

Матеріали і методи. Для досліджень використано жовтонасінневий льон сорту «Світлозір» отриманий від Інституту олійних культур (Україна). Насіння льону мало вологість 10% та олійність 48%, при цьому в олії вміст α -ліноленової поліненасиченої жирної кислоти становив 68—70%. Насіння льону перед використанням подрібнювали в лабораторному млині ЛЗМ-1 (Україна), який призначений

для подрібнення лабораторних проб зерна сільськогосподарських культур та інших твердих харчових продуктів вологістю не вище 18%.

На всіх етапах ведення закваски (цикл розведення і виробничий) оцінювали її кислотність (5 г закваски розтирають з 50 см³ дистильованої води до однорідної суспензії в порцеляновій ступці, куди додають 3—5 краплин 1% спиртового розчину фенолфталеїну та титрують розчином NaOH 0,1 моль/дм³ до появи світло-рожевого забарвлення, що не зникає 20—30 с) (Alkay, Alkay, Dertli, Kökten, & Durak, 223), підймальну силу (відважують 10 г закваски, додають до неї 10 г борошна пшеничного 2 сорту, замішують тісто, яке поділяють на 2 шматки по 10 г, які заковчують у кульки та опускають у стакан з водою температурою 35 °С, який поміщають у термостат з такою ж температурою; фіксують час у момент опускання кульок у стакан і в момент їх спливання. Цей проміжок часу у хвилинах і є підйальною силою напівфабрикату; розбіжність між паралельними визначеннями не повинна перевищувати 2 хв та органолептичні властивості (смак та запах).

У готовій заквасці визначали активність молочнокислих бактерій: 20 г закваски змішують із 40 см³ води, нагрітої до температури 40 °С. Із суміші відбирають у дві пробірки по 10 см³. В одну пробірку (дослідну) додають 1 см³ 0,00-відсоткового водного розчину метиленового синього. Друга пробірка є контролем. Пробірки поміщають у термостат за температури 40 °С. Активність молочнокислих бактерій встановлюють за часом, необхідним для знебарвлення проби.

Проводили дві серії випікань хліба з лляною закваскою спонтанного бродіння: 1 — для встановлення рекомендованого дозування лляної закваски для отримання виробів належної якості; 2 — для встановлення ефективності внесення до складу хліба подрібненого насіння льону у складі закваски порівняно з використанням у рецептурі хліба подрібненого насіння льону, що не піддавалося ферментативній обробці.

Для встановлення рекомендованого дозування лляної закваски спонтанного бродіння у виробництві хліба проводили пробне лабораторне випікання. Зразки тіста замішували за такою рецептурою: борошно пшеничне вищого сорту 1000 г, дріжджі пресовані 30 г, сіль кухонна харчова 15 г. Контрольним був зразок без внесення закваски, у дослідні зразки додавали лляну закваску спонтанного бродіння у кількості 10%, 20%, 30% та 40% до маси борошна. Обраний діапазон дозування закваски є найбільш поширеним у разі застосування заквасок різних видів у виробництві хліба (Aroga, 2021).

Для встановлення порівняльного впливу на якість хліба подрібненого насіння льону в ферментованому та неферментованому вигляді проводили замішування дослідного зразка тіста з дозуванням лляної закваски 20% до маси борошна (встановлено в першій серії випікань) та контрольного зразка з внесенням 7% до маси борошна подрібненого насіння льону (таке дозування подрібненого насіння льону відповідає його вмісту у 20% закваски та встановлено розрахунковим методом).

Тісто для всіх зразків замішували в тістомісильній машині ESHER (Італія) на першій швидкості 4—6 хв та 6—8 хв на другій швидкості. Початкова температура тіста становила 25—26 °С. Тісто залишали на бродіння протягом 90 хв (з однією обминкою через 60 хв) за температури 30—32 °С. Після бродіння тісто ділили на

шматки масою по 250 г, з яких формували тістові заготовки для 2 формових виробів та 1 подового, які поміщали на вистоювання у шафу вистоювання Sveba Dahlin AB DC-21 (Швеція) за температури 35—38 °С. Кінець вистоювання встановлювали органолептично. Вистояні тістові заготовки випікали у секційній печі Sveba Dahlin AB DC-21 (Швеція) при подачі пару (8 сек) за температури 200—220 °С протягом 28—32 хв (Бондаренко, Андронович, Білик, & Кочубей-Литвиненко, 2022).

Дослідження процесу бродіння у тісті проводили за аналізом динаміки виділення вуглекислого газу зі 100 г тіста за температури 30 °С протягом періоду, що включає тривалість бродіння тіста та вистоювання тістових заготовок. Для визначення цього показника користувалися волюмометричним методом контролю виділеного CO₂ за постійних температури й тиску (Verheyen, Albrecht, Elgeti, Jekle, & Becker, 2015; Munteanu та ін., 2019; Shevchenko, Drobot, & Galenko, 2022).

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 — арбітражним методом, пористість — методом аналізу цифрового зображення зрізу хліба) (Zhu, Sakulnak, & Wang, 2016; Hetman, Mykhonik, Kuzmin, & Shevchenko, 2021; Mannuramath, Yenagi, & Orsat, 2015; Петруша, Дашинська, & Шуліка, 2017).

Достовірність отриманих результатів забезпечувалася повторенням експериментів тричі. Отримані та представлені результати враховують середньоквадратичне відхилення; графічне представлення експериментальних даних проводили з використанням стандартних програм статистичної обробки — Microsoft Excel 2010.

Результати і обговорення. Технологія ведення будь-якої закваски передбачає цикл розведення та виробничий цикл. У циклі розведення закваски подрібнене насіння льону змішували з водою у співвідношенні 1:2. Вологість отриманої маси становила 65—67%. У заквасці спонтанного бродіння процес бродіння запускається спонтанною мікрофлорою, що потрапляє разом з сировиною, тому замішаний напівфабрикат залишали для ферментації в умовах приміщення за температури 23±2 °С та кожні 24 год до неї додавали поживну суміш з 50 г подрібненого насіння льону та 100 см³ води. Поновлення закваски здійснювали для накопичення її біомаси та вимивання з неї «дикої» мікрофлори, продукти життєдіяльності якої надають заквасці гіркий присмак і неприємний кислий запах. Цикл розведення тривав 72 години.

У виробничому циклі лляної закваски спонтанного бродіння кожні 24 год на поновлення залишали 50% стиглої закваски і додавали еквівалентну кількість поживної суміші з подрібненого насіння льону та води. Ферментацію проводили в умовах приміщення за температури 23±2 °С.

Схема виведення закваски спонтанного бродіння та її органолептичні й біотехнологічні показники наведено в табл. 1. Встановлено, що замішаний для отримання закваски спонтанного бродіння напівфабрикат з подрібненого насіння льону та води мав початкову кислотність 0,4 град. Через 24 год ферментації внаслідок процесів бродіння, зумовлених бродильною мікрофлорою, що спонтанно потрапила з подрібненим насінням льону, кислотність напівфабрикату підвищилася на

1,2 град. Після додавання до нього нової порції поживної суміші та 24 год бродіння підвищення кислотності спостерігалось на 4,4 град, на цій стадії відзначається найвищий стрибок кислотності, що свідчить про активний розвиток молочнокислих бактерій. Додавання нової порції поживної суміші та ще 24 год бродіння зумовили зростання кислотності закваски на 2—4 град.

Таблиця 1. Цикл розведення лляної закваски спонтанного бродіння та показники її якості (n=3, p≥0,95, δ=3...5%)

Стадія	Біотехнологічні показники	Органолептичні показники
1. Замішування фази 1: подрібнене насіння льону — 50 г вода — 100 г	Кислотність — 0,4 град Вологість — 65—67%	Запах — лляний Смак — властивий подрібненому льону
2. Через 24 год ферментації до фази 1 додають: подрібнене насіння льону — 50 г вода — 100 г	Через 24 год бродіння: Кислотність — 1,6 град Вологість — 65—67% Підймальна сила — відсутня	Запах — помірно лляний Смак — властивий подрібненому льону злегка кислуватий
3. Через 48 год ферментації до фази 2 додають: подрібнене насіння льону — 50 г вода — 100 г	Через 48 год бродіння: кислотність — 6,0 град Вологість — 65—67% Підймальна сила — відсутня	Запах — приємний молочний, злегка кислуватий Смак — помірно молочно-кислий
4. Через 72 год ферментації до фази 3 додають: подрібнене насіння льону — 50 г вода — 100 г	Через 72 год бродіння: Кислотність — 8—10 град Вологість — 65—67% Підймальна сила — відсутня	Запах — молочно-кислий, приємний Смак — виражений молочно-кислий кефірний

Органолептично закваска не значно збільшувалася в об'ємі, але на 48 та 72 год ферментації візуально мала вигляд розпушеної маси. Встановлено, що на всіх стадіях виведення закваски не відзначено формування неприємного присмаку та запаху, навпаки, спостерігалася позитивна динаміка: на першій стадії смак і запах були властиві льону подрібненому, на кожній наступній стадії ферментації проявлявся більш молочний присмак і запах. Закваска через 72 год ферментації мала приємний молочнокислий кефірний смак і запах.

З кожним підживленням закваски спонтанного бродіння покращується її склад, інтенсифікується життєдіяльність молочнокислих бактерій, що зумовлює підвищення кислотності закваски, пригнічується розвиток сторонньої мікрофлори, покращуються органолептичні показники якості закваски.

Зважаючи на хороші органолептичні показники якості закваски через 72 год бродіння та її кислотність 8—10 град подальший процес її виведення не проводили, адже це зумовлювало б зростання кислотності, що, у свою чергу, обмежувало б її дозування для випікання пшеничного хліба як носія фізіологічно-функціональних інгредієнтів.

За результатами досліджень виявлено, що спонтанна лляна закваска не здатна піднімати кульку тіста, що свідчить про низьку активність у ній дріжджової мікрофлори, тому вона не може виконувати функцію біологічного розпушувача тіста. Підвищення кислотності в заквасці вказує на активний розвиток у ній молочнокислих бактерій. Визначення активності молочнокислих бактерій на 72 год ферментації закваски показало, що знебарвлення проби лляної закваски у пробірці відбулося через 68 хвилин. Це свідчить про середню активність молочнокислих бактерій у лляній заквасці, що характерно для заквасок, які отримано без застосування чистих культур молочнокислих бактерій.

Можна припустити, що у складі мікрофлори закваски присутні молочнокислі бактерії видів *L. plantarum* і *L. brevis* як такі, що домінують у мікробіоті заквасок спонтанного бродіння (Agora та ін., 2021). *L. plantarum* є активним продуцентом молочної кислоти і невеликої кількості (до 10%) летких кислот. Крім того, *L. Plantarum* є інгібітором *B. subtilis*, які зумовлюють розвиток картопляної хвороби хліба. Молочнокислі бактерії *L. brevis*, порівняно з *L. plantarum*, продукують менше молочної кислоти і значно більше (до 30%) летких кислот, а також діоксид вуглецю, який бере участь у розпушуванні тістових напівфабрикатів (Ventimiglia та ін., 2015). Оскільки лляна закваска не виявляла підйимальної сили, але візуально розпушувалася, можливо, це відбувалося завдяки бактеріям *L. brevis*, але накопиченого ними вуглекислого газу було недостатньо для формування підйимальної сили закваски. Зважаючи на приємні запах та смакові властивості закваски — кислий молочно-кефірний, ймовірно, у складі молочнокислих бактерій переважають *L. plantarum*.

Під час приготування закваски внаслідок контакту подрібненого насіння льону з водою та протягом всього періоду ферментації водорозчинні полісахариди насіння льону екстрагуються у рідку фазу закваски і використовуються спонтанною мікрофлорою як джерело живлення. Відомо, що *L. plantarum* здатні метаболізувати пентози (ксилозу і арабінозу) і гексози (глюкоза, галактоза і рамноза) з утворенням молочної кислоти та невеликої кількості оцтової, які обумовлюють формування кислотності закваски та її ароматичного комплексу. Тому солюбілізація водорозчинних полісахаридів у заквасці із насіння льону та їх ферментативний і кислотний гідроліз сприяють забезпеченню умов для активного розвитку молочнокислих бактерій і швидкого накопичення біомаси закваски (Maidana та ін., 2020).

Отже, отримана лляна закваска не здатна виконувати функції біологічного розпушувача тістової системи для заміни в рецептурі пресованих дріжджів, але може застосовуватися як закваска-підкислювач. У дослідженнях (Bartkiene та ін., 2014) було відзначено, що лляна закваска, отримана із застосуванням чистих культур молочнокислих бактерій *P. acidilactici*, *P. pentosaceus*, *L. sakei*, характеризується значним накопиченням молочної та оцтової кислот, тому рекомендована для використання у виробництві дріжджового пшеничного хліба як підкислювач тіста, а не біологічний розпушувач.

Постійне підтримання виробничої кількості лляної закваски спонтанного бродіння здійснюється у виробничому циклі її виготовлення. Встановлено, що у виробничому циклі при поновленні 50% стиглої лляної закваски еквівалентною кіль-

кістю поживної суміші з подрібненого насіння льону та води, накопичення кислотності, встановленої для стиглої закваски 8—10 град, та формування приємних смакових та ароматичних властивостей досягається протягом 24 год ферментації (табл. 2).

Такий режим поновлення закваски підтримує мікрофлору закваски в активному метаболічному стані та раціональний для застосування на підприємствах малої потужності, що працюють в одну зміну.

Таблиця 2. Показники якості лляної закваски спонтанного бродіння у виробничому циклі (n=3, p≥0,95, δ=3...5%)

Стадія	Біотехнологічні показники	Органолептичні показники
Поновлення закваски: стигла закваска — 150 г подрібнене насіння льону — 50 г вода — 100 г	Кислотність — 3,6—4,6 град Вологість — 65—67% Підймальна сила — відсутня	Запах — приємний лляний ледь кислуватий Смак — прісний лляний з легкою кислинкою
Через 24 год ферментації	Кислотність — 8—10 град Вологість — 65—67 % Підймальна сила — відсутня	Запах — молочно- кислий, приємний Смак — виражений молочно-кислий кефірний

Для проведення пробних лабораторних випікань хліба з лляною закваскою спонтанного бродіння використовували закваску, отриману у виробничому циклі з такими показниками якості: вологість 67%, кислотність 9,5 град.

Результати пробного лабораторного випікання щодо застосування лляної закваски спонтанного бродіння для випікання хліба наведено в табл. 3, фото готових виробів — на рис. 1.

Таблиця 3. Показники технологічного процесу та якості готових виробів (n=3, p≥0,95, δ=3...5%)

Найменування показника	Контроль	Дозування закваски, % до маси борошна			
		10	20	30	40
Тісто					
Тривалість бродіння, хв	90				
Вологість тіста, %	42,5	42,8	42,5	42,7	42,5
Кінцева кислотність тіста, град.	1,6	2,2	3,0	3,4	4,5
Тривалість вистоювання тістових заготовок, хв	60	53	50	45	45

Готові вироби					
Зовнішній вигляд	Форма правильна, гладка				
Колір скоринки	Світло-жовтий		Золотисто-жовтий з крапленнями частинок льону		
Колір м'якушки	Світла		Світла з кремовим відтінком		
Смак та аромат	Властивий пшеничному хлібу	Властивий пшеничному хлібу з легким присмаком льону	Властивий пшеничному хлібу з легким присмаком льону	Властивий пшеничному хлібу з відчутним присмаком льону, легкою кислотною	Властивий пшеничному хлібу з сильно вираженим присмаком льону та кислоти
Стан м'якушки	Еластична, не липка	Дуже еластична, не липка, ледь помітні краплення льону	Дуже еластична, не липка, ледь помітні краплення льону	Еластична, більш пружна, не липка, ледь помітні краплення льону	Еластична, більше пружна, не липка, ледь помітні краплення льону
Стан пористості	Середня, тонкостінна	Середня, тонкостінна	Середня, середня за товщиною стінки	Середня, середня за товщиною стінки	Крупна, товстостінна
Формостійкість, Н/Д	0,41	0,40	0,44	0,46	0,44
Питомий об'єм, см ³ /г	2,72	2,66	2,60	2,53	2,45
Пористість, %	74,0	74,0	73,0	72,0	71,0
Кислотність м'якушки, град.	1,3	2,0	2,4	3,0	3,4



Контроль 10 % 20 % 30 % 40 %
а



б

Рис. 1. Фото формового (а) та подового (б) хліба з лляною закваскою спонтанного бродіння

Під час проведення дослідження встановлено, що внесення лляної закваски зумовлює підвищення кінцевої кислотності тіста на 0,6—2,9 град відповідно до збільшення дозування закваски. Тривалість вистоювання тістових заготовок прискорюється на 7 та 10 хв за дозування закваски 10% та 20 % до маси борошна, на 15 хв за дозування 30% та 40% до маси борошна.

Внесення закваски, завдяки активній молочнокислій мікробіоті та підвищенню кислотності, прискорює процеси дозрівання тіста та вистоювання тістових заготовок.

Аналіз органолептичних показників якості хліба показав, що додавання лляної закваски сприяє значному покращанню еластичності м'якушки за дозування 10 та 20% до маси борошна, а збільшення дозування закваски зумовлює появу у м'якушці більш пружних властивостей. Поряд з цим відзначено, що внесення закваски зумовлює зміну структури пористості виробів, порівняно з контролем, вона стає середньою за товщиною пор при 20 та 30% до маси борошна закваски та крупною і товстостінною за дозування закваски 40% до маси борошна. У структурі м'якушки виробів із закваскою ледь помітні вкраплення частинок льону, внаслідок чого за її дозування 20% до маси борошна і більше м'якушка хліба набуває кремового відтінку.

Смакові властивості й аромат виробів з легким присмаком льону були властиві виробам за дозування 10 та 20% закваски, при збільшенні закваски до 30% вироби мали приємний більш виражений лляний присмак з відчутною кислинкою, а за дозування 40% вироби характеризувалися вже неприємним лляним присмаком з вираженим кислим смаком. Оцінювання смакових і ароматичних властивостей виробів через 3 год після випікання спонукали нас рекомендувати дозування лляної закваски 30% до маси виробів, як максимально можливе, що надає хороші смакові властивості виробів. Однак оцінювання виробів через 24 год зберігання виявило, що за цього дозування проявився неприємний більш виражений лляний і кислий присмак. Смак хліба і його аромат є важливими критеріями якості для споживача. У разі застосування заквасок у виготовленні хлібобулочних виробів важливо досягти гармонійного смаку, щоб уникнути, наприклад, надмірної кислотності (що сприймається як кислий або гострий смак), і при цьому посилити приємні смакові відтінки. Тому у разі застосування лляної закваски найбільш гармонійне сприйняття смаку було за дозування закваски 20% до маси борошна.

Оцінювання виробів за формостійкістю показало, що дозування закваски 20% до маси борошна і більше сприяє покращанню цього показника в середньому на 12%. Покращання формостійкості виробів може бути зумовлене більшим загущенням тістової системи розчинами водорозчинних полісахаридів насіння, що потрапляють у тісто разом із закваскою. Питомий об'єм виробів зменшувався порівняно з контролем, при дозуванні 10 та 20% до маси борошна закваски це зменшення було не значне та становило 2,1% та 4,5%, відповідно, а у зразках з 30 та 40% до маси борошна питомий об'єм зменшувався вже на 7 та 10%. Зменшення об'єму виробів з 30 та 40% закваски зумовлює зниження показника пористості.

Усі зразки хліба з закваскою мали вищу кислотність, порівняно з контролем, на 0,7—2,1 град відповідно до зростання її дозування у зразках, але в межах допустимої кислотності для пшеничних сортів хліба з борошна вищого сорту.

На підставі пробного лабораторного випікання хліба з борошна пшеничного вищого сорту з використання спонтанної лляної закваски було встановлено, що її рекомендоване дозування становить до 20% до маси борошна. За такого дозування отримують вироби, що мають приємні смакові властивості з легким присмаком льону, покращеною, порівняно з контролем без закваски, еластичністю м'якушки та формостійкістю виробів. У праці (Bartkiene та ін., 2014) зазначено, що в разі застосування лляної закваски, отриманої ферментуванням частково знежиреного подрібненого насіння льону чистою культурою одного із штамів молочнокислих бактерій (*P. acidilactici*, *P. pentosaceus*, *L. sakei*), у виробництві пшенично-лляного хліба, її допустиме дозування становить лише 10%. Це підтверджує, що спонтанна мікрофлора лляної закваски забезпечує формування таких біотехнологічних та органолептичних властивостей закваски, що сприяє більшому її дозуванню і, відповідно, підвищує збагачення хліба корисними речовинами льону.

Результати пробного лабораторного випікання щодо встановлення ефективності застосування у виготовленні хліба подрібненого насіння льону у складі закваски, порівняно з використанням у рецептурі хліба подрібненого насіння льону, що не піддавалося ферментативній обробці, наведено у табл. 4, фото готових виробів — на рис. 2.

Таблиця 4. Органолептичні та фізико-хімічні показники готових виробів (n=3, p≥0,95, δ=3...5%)

Найменування показника	Контроль з подрібненим насінням льону (7% до маси борошна)	З лляною закваскою спонтанного бродіння (20% до маси борошна)
Органолептичні показники		
Смак та аромат	Прісний, властивий пшеничному хлібу, з присмаком льону	Приємний, виражений, властивий пшеничному хлібу з легким присмаком льону
Зовнішній вигляд	Форма правильна, гладка	Форма правильна, гладка
Колір скоринки	Світло-жовтий	Світло-жовтий
Стан м'якушки	Еластична, не липка, ледь помітні крапління льону, пористість середня	Пружна та дуже еластична, не липка, ледь помітні крапління льону, пористість дрібна
Фізико-хімічні показники		
Вологість м'якушки, %	42,2	42,8
Формостійкість, Н/Д	0,4	0,47
Питомий об'єм, см ³ /г	2,76	2,65
Пористість, %	71	70
Кислотність м'якушки, град	1,3	2,4
Кришкуватість, через 48 год	2,4	1,2

Встановлено, що вироби, виготовлені з використанням лляної закваски, мають більш виражений і приємний пшенично-молочного смак з ледь помітним лляним присмаком, порівняно з контролем з подрібненим насінням льону. Цією серією випікань також було підтверджено, що внесення закваски сприяє формуванню більш

пружної та еластичної м'якушки виробів, що, з одного боку, зумовлено укріпленням клейковини через вищу кислотність тіста, а з іншого — впливом водорозчинних полісахаридів насіння льону, які, взаємодіючи з білками, утворюють комплекси та покращують еластичність. Відзначено, що у зразку із закваскою часточки льону внаслідок їх тривалої гідратації та ферментації у заквасці набухають і формують у м'якушці з іншими складовими рецептури практично однорідну масу та не відчувуються під час розжовування, на відміну від зразка з неферментованим подрібненим насінням льону, яке чітко ідентифікується у структурі м'якушки і хоча під час розжовування не відчувається, але, загалом, за структурою ця м'якушка більш сухіша при розжовуванні з прісним смаком і відчутним лляним присмаком. Застосування лляної закваски сприяє зменшенню кришковатості м'якушки під час зберігання.

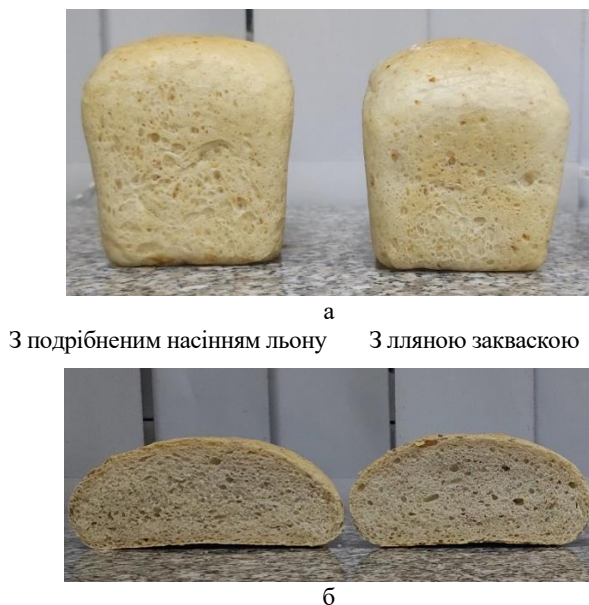


Рис. 2. Фото формового (а) та подового (б) хліба з подрібненим насінням льону та лляною закваскою спонтанного бродіння

Додавання до складу тіста лляної закваски зумовлює підвищення формостійкості виробів на 17%, напевно, тут також свій виразний вплив здійснили водорозчинні полісахариди насіння льону, які у заквасці вже перебувають в екстрагованому стані і активно вступають у зв'язки з білками пшеничного борошна, утворюючи комплекси, які покращують поверхневий натяг, на відміну від контрольного зразка, в якому полісахаридам насіння льону потрібен час для екстрагування у рідку фазу тіста. Крім того, підвищення кислотності тіста внаслідок внесення закваски сприяє певному укріпленню тістової системи. Внаслідок цього вироби на заквасці мали дещо менший об'єм. Кислотність хліба з лляною закваскою була вищою, порівняно з контролем, на 1,1 град.

Дослідження процесу бродіння в зразках тіста з ферментованим у заквасці та неферментованим подрібненим насінням льону за динамікою виділення вуглекислого газу (рис. 3) показало відмінний характер бродіння.

Для контрольного зразка з 90 хв бродіння спостерігається перебудова дріжджів на зброджування мальтози, що обумовлює двостадійний процес бродіння в тісті, в той час як для зразка з лляною закваскою характерним є одностадійний процес бродіння. Ймовірно, це пов'язано з тим, що з лляною закваскою в рідку фазу тіста вносяться екстраговані з льону під час ферментації закваски амінокислоти, продукти гідролізу полісахаридів, мінеральні речовини, які в тісті є додатковим живленням для дріжджів, унаслідок чого не виникає необхідності для дріжджових клітин перебудовуватися на зброджування мальтози.

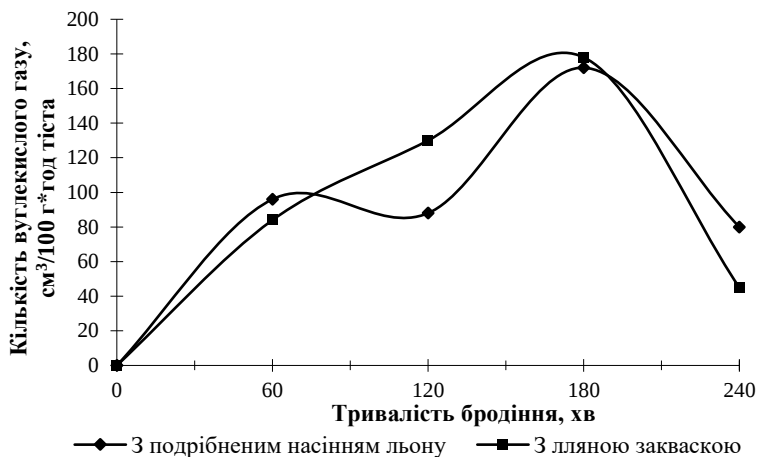


Рис. 3. Динаміка виділення вуглекислого газу в тісті з подрібненим насінням льону та лляною закваскою

Аналіз кривих динаміки виділення вуглекислого газу свідчить, що в обох зразках досягнення максимального виділення вуглекислого газу відбувається на 180 хв бродіння, при цьому в момент досягнення піку у зразку з лляною закваскою фіксується дещо більша кількість виділеного CO_2 . Враховуючи такі закономірності бродіння тіста рекомендовано формування тістових заготовок здійснювати на 150 хв бродіння, щоб на операцію вистоювання тістових заготовок припадав період інтенсивного виділення вуглекислого газу для скорочення тривалості їх вистоювання та забезпечення формування хорошого об'єму виробів.

Отримані закономірності впливу лляної закваски на перебіг технологічного процесу та якість виробів були застосовані для виготовлення рустикального хліба з пшеничного борошна вищого сорту. У технології цього хліба лляна закваска спонтанного бродіння виконувала функції закваски-підкислювача та носія фізіологічно-функціональних інгредієнтів (поліненасичених жирних кислот, харчових волокон та ін.). Однак рекомендоване дозування закваски 20% до маси борошна забезпечує внесення лише 7% подрібненого насіння льону. За літературними даними для формування у виробі функціональних властивостей дозування льону у ре-

цептурному складі повинно становити не менше 10% до маси борошна, тому передбачено у виготовленні рустикального хліба поряд з 20% лляної закваски використовувати додатково ціле насіння льону у кількості 5% до маси борошна. Відповідно до вищезазначених рекомендацій тривалість бродіння тіста приймали 150 хв. Зважаючи, що внесення лляної закваски покращує формостійкість виробів, здійснювали формування тістових заготовок для подових виробів. Поверхню вистояних тістових заготовок перед посадкою у піч надрізали та посипали цілим насінням льону. Випікання здійснювали у печі з кам'яним подом. Випечені вироби за органолептичними показниками відповідали характеристикам рустикального хліба (рис.4).



Рис. 4. Фото рустикального хліба з лляною закваскою:
а — цілого; б — в розрізі

Виріб мав скоринку світло-коричневого кольору, жорстку з надрізами, тріщинами та посипану цілим насінням. М'якушка хліба дуже еластична, дещо пружна, з поодинокими включеннями цілого насіння льону, нерівномірною розвинутою пористістю. Подрібнене насіння льону, внесене з закваскою, у структурі м'якушки не помітне. Хліб мав дуже виражений пшенично-молочний запах і приємний смак з ледь помітним лляним присмаком. Розрахунковим методом встановлено, що споживання 277 г цього хліба задовольняє добову потребу в таких фізіологічно-функціональних інгредієнтах як поліненасичені жирні кислоти на 47% та харчові волокна на 36%, тобто представлений рустикальний хліб з лляною закваскою має функціональні властивості.

Отже, використання закваски спонтанного бродіння з подрібненого лляного насіння може додати унікальний смак та аромат рустикальним хлібобулочним виробам, розширити асортимент таких виробів, а також покращити їх харчову цінність завдяки збагаченню корисними речовинами, що містяться в льоні.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що цикл розведення закваски спонтанного бродіння з подрібненого насіння льону становить 72 год за температури 23 ± 2 °C та передбачає три поновлення поживною сумішшю із подрібнено-

го насіння льону та води кожні 24 год бродіння. Готова лляна закваска характеризується приємним молочно-кислим запахом, вираженням молочно-кислим кефірним смаком з легким лляним присмаком, вологістю 65—67% та кінцевою кислотністю 8—10 град. Встановлено, що спонтанна лляна закваска у тістовій системі виконуватиме функції закваски-підкислювача, носія смакових та ароматичних сполук, а також фізіологічно-функціональних інгредієнтів, що містяться в льоні.

Для підтримання виробничої кількості лляної закваски спонтанного бродіння рекомендовано до 50% стиглої закваски додавати еквівалентну кількість поживної суміші з подрібненого насіння льону та води, проводити її ферментацію протягом 24 год в умовах приміщення за температури 23 ± 2 °C до кислотності, встановленої для стиглої закваски, 8—10 град. Такий режим поновлення закваски підтримує її мікрофлору в активному метаболічному стані та раціональний для застосування на підприємствах малої потужності, що працюють в одну зміну.

Встановлено, що рекомендоване дозування спонтанної лляної закваски для випікання хліба з борошна пшеничного вищого сорту становить до 20% до маси борошна.

Доведено ефективність використання подрібненого насіння льону ферментованого у заквасці, порівняно з використанням подрібненого насіння льону, що не піддавалося ферментації, для отримання виробів з кращими смако-ароматичними властивостями, структурою м'якушки та формостійкістю виробів.

У разі застосування лляної закваски спонтанного бродіння для приготування тіста відзначено, що процес його бродіння відбувається одностадійно, і рекомендована тривалість бродіння тіста становить 150 хв.

У виробництві рустикального хліба з використанням 20% до маси борошна спонтанної лляної закваски для підвищення в ньому вмісту фізіологічно-функціональних інгредієнтів льону в рецептуру додатково включено 5% лляного насіння, що задовольняє добову потребу у поліненасичених жирних кислотах на 47% та харчових волокнах на 36% при споживанні добової норми хліба.

Подяка

Дослідження виконане в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи «Наукове обґрунтування та розроблення ресурсоефективних технологій харчової продукції цільового призначення як імператив продовольчої безпеки» 0123U102060.

Література

Бондаренко, Ю. В., Білик, О. А., Кочубей-Литвиненко, О. В., & Андронович Г. М. (2020). Насіння льону — рецептурний компонент хлібобулочних виробів. *Наукові праці НУХТ*, 26(4), 178—189.

Дробот, В., Іжевська, О., Тесля, О., & Бондаренко, Ю. (2016). Ефективність використання шроту насіння льону у хлібопекарській промисловості. *Продовольчі ресурси*, 4(07), 210—213.

Бондаренко, Ю., Андронович, Г., Білик, О., & Кочубей-Литвиненко О. (2022). Оптимізація параметрів замочування насіння льону для виробництва пшеничного хліба. *BIOTA. HUMAN. TECHNOLOGY*, 3, 100—109. doi: 10.58407/bht.3.22.9.

Краєвська, С., & Піддубний, В. (2023). Технологія крафтового житньо-пшеничного хліба з пророщеним насінням льону. *Товари і ринки*, 1, 100—112.

- Лебеденко, Т. Є., Новічкова, Т. П., Соколова, Н., Місержи, М. Д., & Тулейбич, О. М. (2011). Перспективи виробництва національних хлібобулочних виробів в умовах хлібозаводів та пекарень. *Харчова наука і технологія*, 1(14), 17—23.
- Петруша, О., Дашинська, О., & Шуліка, А. (2017). Розробка методу вимірювання пористості хлібобулочних виробів шляхом аналізу цифрового зображення. *Технологічний аудит і резерви виробництва*, 2(3(40)), 61—66. doi: 10.15587/2312-8372.2018.129520.
- Alkay, Z., Alkay, R., Dertli, E., Kökten, K., & Durak, M. Z. (2023). The rheological, textural and physicochemical properties of buckwheat sourdough bread prepared with different lactic acid bacteria strains. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(5), e5643. doi:10.55251/jmbfs.5643.
- Aprile, M. C., Caputo, V., & Nayga Jr., R. M. (2016). Consumers' preferences and attitudes toward local food products. *J. Food Prod. Market*, 22, 19—42. doi: 10.1080/10454446.2014.949990.
- Arora, K., Ameer H., Polo, A., Di Cagno, R., Rizzello, C., & Gobbetti, M. (2021). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 71—83. doi: 10.1016/j.tifs.2020.12.008.
- Arslan-Tontul S., Çetin-Babaoğlu H., Aslan M., & Tontul I. (2024). Evaluation of refractance window-dried type 3 sourdough as an alternative to liquid sourdough in bread production. *Journal of Cereal Science*, 116, 103882. doi: 10.1016/j.jcs.2024.103882.
- Bartkiene, E., Schleining, G., Juodeikiene, G., Vidmantienė D., Krungleviciute V., Rekestyte, T., ..., Maruska, A. (2014). The influence of lactic acid fermentation on biogenic amines and volatile compounds formation in flaxseed and the effect of flaxseed sourdough on the quality of wheat bread. *LWT*, 56(2), 445—450. doi: 10.1016/j.lwt.2013.11.033.
- Bernacchia, R., Preti, R., & Vinci, G. (2014). Chemical composition and health benefits of flaxseed. *Austin Journal of Nutrition and Food Science*, 2(8), 1045.
- Bondarenko, Yu., Bilyk, O., Mykhonik, L., Kochubei-Lytvynenko, O., Andronovich, G., & Hetman I. (2019). The use of golden flax seeds and oats sourbread in the production of wheat bread. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(11), 46—55.
- Cappelle, S., Guylaine, L., Gänzle, M., & Gobbetti, M. (2023). History and Social Aspects of Sourdough. Gobbetti, M., Gänzle, M. (Eds.). *Handbook on Sourdough Biotechnology*. (2 ed.). Switzerland: Springer Cham, 1—13. doi: 10.1007/978-3-031-23084-4.
- Codina, G., & Mironeasa, S. (2016). Use of response surface methodology to investigate the effects of brown and golden flaxseed on wheat flour dough microstructure and rheological properties. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 1—10. doi: 10.1007/s13197-016-2387-5.
- D'Amico, V., Gänzle, M., Call, L., Zwirzitz, B., Grausgruber, H., D'Amico, S., & Brouns, F. (2023). Does sourdough bread provide clinically relevant health benefits? *Frontiers in Nutrition*, 10, 1—22. doi: 10.3389/fnut.2023.1230043.
- De Vuyst, L., Comasio, A., & Kerrebroeck, S. V. (2021). Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(15), 2447—2479. doi: 10.1080/10408398.2021.1976100.
- 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. doi: 10.1016/j.fm.2013.06.002.
- De Vuyst, L., Vrancken, G., Ravyts, F., Rimaux, T., & Weckx, S. (2009). Biodiversity, ecological determinants, and metabolic exploitation of sourdough microbiota. *Food Microbiol.*, 26(7), 666—675. doi: 10.1016/j.fm.2009.07.012.
- Fernández-Peláez, J., Paesani, C., & Gómez, M. (2020). Sourdough Technology as a Tool for the Development of Healthier Grain-Based Products: An Update. *Agronomy*, 10, 1962.
- Gänzle, M. G. (2014). Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. *Food Microbiology*, 37, 2—10. doi: 10.1016/j.fm.2013.04.007.
- Gänzle, M. G., & Zheng J. (2019). Lifestyles of sourdough lactobacilli — Do they matter for microbial ecology and bread quality? *International Journal of Food Microbiology*, 302, 15—23. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.019.

- 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. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.022.
- Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., & Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *J. Food Sci. Technol.*, 51(9), 1633—1653. doi: 10.1007/s13197-013-1247-9.
- Hamelman, J. (2021). *A Baker's Book of Techniques and Recipes*. 3rd edition. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Hetman, I., Mykhonik, L., Kuzmin, O., & Shevchenko, A. (2021). Influence of spontaneous fermentation leavens from cereal flour on the indicators of the technological process of making wheat bread. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), 492—506. doi: 10.24263/2304-974X-2021-10-3-6.
- Hirst, B. C., Dibrov, E., Hirst, S. D., & Pierce, G. N. (2023). Physiological and Pathological Considerations for the Use of Flaxseed as a Therapeutic Dietary Strategy. *Rev Cardiovasc Med.*, 24(5), 149. doi: 10.31083/j.rcm2405149.
- Jiang, X., Wang, X., & Zhou, Sh. (2022). Effect of flaxseed marc flour on high-yield wheat bread production: Comparison in baking, staling, antioxidant and digestion properties. *LWT*, 169, 113979. doi:10.1016/j.lwt.2022.113979.
- Kulathunga, J., Whitney, K., & Simsek, S. (2023). Impact of starter culture on biochemical properties of sourdough bread related to composition and macronutrient digestibility. *Food Bioscience*, 53, 102640. doi: 10.1016/j.fbio.2023.102640.
- Kumar, S., Talwar, Sh., Murphy, M., Kaur, P., & Dhir, A. (2021). A behavioural reasoning perspective on the consumption of local food. A study on REKO, a social media-based local food distribution system. *Food Quality and Preference*, 93, 104264. doi: 10.1016/j.foodqual.2021.104264.
- Li, L., Li, H., Gao, Y., Vafaei, S., Zhang, X., & Yang, M. (2023). Effect of flaxseed supplementation on blood pressure: a systematic review, and dose-response meta-analysis of randomized clinical trials. *Food Funct*, 14(2), 675—690. doi: 10.1039/d2fo02566c.
- Lingham, S., Hill, I., & Manning, L. (2022). Artisan food production: what makes food ‘artisan’. Dana, L. P., Ramadani, V., Palalic, R., & Salamzadeh, A. (Eds.). *Artisan and Handicraft Entrepreneurs: Past, Present, and Future* (first ed.). Switzerland: Springer Cham. doi: 10.1007/978-3-030-82303-0_6.
- Maidana, D., Finch, S., Garro, S., Savoy, M., Gänzle, G., & Vignolo, M. (2020). Development of gluten-free breads started with chia and flaxseed sourdoughs fermented by selected lactic acid bacteria. *LWT*, 125, 109189. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109189.
- Mannuramath, M., Yenagi, N., & Orsat, V. (2015). Quality evaluation of little millet (*Panicum miliare*) incorporated functional bread. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 8357—8363. doi: 10.1007/s13197-015-1932-y.
- Marpalle, P., Sonawane, S., & Arya, Sh. (2014). Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. *LWT*, 58(2), 614—619. doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.003.
- Maurice, B., Saint-Eve, A., Pernin, A., Leroy, P., & Souchon, I. (2022). How Different Are Industrial, Artisanal and Homemade Soft Breads? *Foods*, 11(10), 1484. doi: 10.3390/foods11101484.
- Mueed, A., Shibli, S., Jahangir, M., Jabbar, S., & Deng, Z. (2023). A comprehensive review of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.): health-affecting compounds, mechanism of toxicity, detoxification, anticancer and potential risk. *Crit Rev Food Sci. Nutr.*, 63(32), 1081—11104. doi: 10.1080/10408398.2022.2092718.
- Munteanu, G. M., Voicu, G., Ferdeş, M., Ştefan, E. M., Constantin, G. A., & Tudor, P. (2019). Dynamics of fermentation process of bread dough prepared with different types of yeast. *Scientific Study & Research*. 20(4). 575—584.
- Mykhonik, L., & Hetman, I. (2022). The Use of Leaven of Spontaneous Fermentation of Cereal Flours in the Technology of Healthy and Dietary Bakery Products. Bioenhancement and Fortification of Foods for a Healthy Diet. London: CRC Press, 135—154. doi: https://doi.org/10.1201/9781003225287.
- Ricciardi, A., Parente, E., Piraino, P., Paraggio, M., & Romano, P. (2005). Phenotypic characterization of lactic acid bacteria from sourdoughs for Altamura bread produced in Apulia (Southern Italy). *International Journal of Food Microbiology*, 98(1), 63—72. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.007.

Rizzello, C. G., Coda, R., & Gobbetti, M. (2016). Use of sourdough fermentation and non wheat flours for enhancing nutritional and healthy properties of wheat-based foods. In *Fermented Foods in Health and Disease Prevention*; Frías, J., Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, 433—452.

Rocha, J. M., & Malcata, F. X. (2012). Microbiological profile of maize and rye flours, and sourdough used for the manufacture of traditional Portuguese bread. *Food Microbiology*, 31(1), 72—88. doi: 10.1016/j.fm.2012.01.008.

Shevchenko, A., Drobot, V., & Galenko, O. (2022). Use of pumpkin seed flour in preparation of bakery products. *Ukrainian Food Journal*, 11, 90—101. doi: 10.24263/2304-974X-2022-11-1-10.

Ventimiglia, G., Alfonzo, A., Galluzzo, P., Corona, O., Francesca, N., Caracappa, S., Moschetti, G., & Settanni, L. (2015). Codominance of *Lactobacillus plantarum* and obligate heterofermentative lactic acid bacteria during sourdough fermentation. *Food Microbiology*, 51, 57—68. doi: 10.1016/j.fm.2015.04.011.

Verheyen, C., Albrecht, A., Elgeti, D., Jekle, M., & Becker, T. (2015). Impact of gas formation kinetics on dough development and bread quality. *Food Research International*, 76, 860—866. doi: 10.1016/j.foodres.2015.08.013.

Zhu, F., Sakulnak, R., & Wang, S. (2016). Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread. *Food Chemistry*, 194, 1217—1223. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.08.110.