



UDC 664.64.014

## OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF NUTRITION MIXTURE FERMENTATION PROCESS WITH THE USE OF SPLINE INTERPOLATION

Iryna M. Korniienko<sup>1</sup>, Oleh P. Lutsenko<sup>2</sup>, Volodymyr M Isaienko<sup>1</sup>, Mykhailo M. Baranovskiy<sup>1</sup>,  
Andrii S. Anatskyi<sup>2</sup>, Lyudmila P. Laricheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Aviation University Liubomyra Huzara ave. 1 Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Oles Honchar Dnipro National University, Gagarin ave. 72, 49010, Dnipro, Ukraine

<sup>3</sup>Dneprovsky state technical university, Dniprobudivska st., 2 Kamianske, 51918, Ukraine

Received 14 November 2020; accepted 20 April 2021; available online 1 May 2021

### Abstract

A technology for producing a sourdough based on pure cultures of lactic acid bacteria without adding baker yeast and synthetic additives has been developed. It is proposed to use gluten-free soy and whole grain spelled flour as a nutritional mixture. The process of sourdough fermentation has been investigated in relation to the physicochemical parameters: the lifting force and titrated acidity. The experiments were conducted with temperatures of pure cultures symbiosis cultivation at 22 °C and 40 °C. To intensify the process of fermentation of a nutritious mixture, additional substrates were introduced into the sourdough cultures - lactulose, sorbitol, lactose and fructose in concentrations of 2, 4, 6 and 8 %. The efficiency of using the nucleotide adenosine triphosphate (ATP) at concentrations of 25, 50, 75, 100 mg/kg of flour in the sourdough culture samples has been investigated. The studied samples of sourdough cultures have a stable form of pasty consistency, acidity between 10 and 14 degrees Turner, ball lifting force no more than 25 minutes and humidity of 48–50 %. Finished products were subject to organoleptic evaluation. According to the results of evaluating organoleptic parameters, as well as porosity, the best samples of functional bread were obtained by using the sourdough on lactulose base with the addition adenosine triphosphate as an energy source. By using mathematical model based on spline interpolation, the optimal technical parameters have been obtained to minimize the time of technological cycle of sourdough producing. The optimal concentrations for lactulose and adenosine triphosphate nucleotide have been found, which are 4.34 % and 46.7 mg/kg of flour, respectively. Due to the peculiarities of the enzyme systems of lactic acid bacteria pure cultures, the introduction of the proposed technology for producing sourdough to the practice of producing functional bread will make it possible to obtain a high-quality product with a fermented carbohydrate component. The products obtained have a prolonged shelf life due to lactic acid. They also meet the established standards for physicochemical, organoleptic and microbiological indicators during the period of sale. This technology can be adapted by large and craft bakeries.

**Keywords:** optimization; technological process; spline model; biosynthesis; fermenting; lactulose; adenosine triphosphate; biomass; lactic acid bacteria.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ФЕРМЕНТАЦІЇ ПОЖИВНОЇ СУМІШІ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЛАЙН ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

Ірина М. Корнієнко<sup>1</sup>, Олег П. Луценко<sup>2</sup>, Володимир М. Ісаєнко<sup>1</sup>,  
Михайло М. Барановський<sup>1</sup>, Андрій С. Анацький<sup>3</sup>, Людмила П. Ларичева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара 1, м. Київ, 03058, Україна

<sup>2</sup>Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна 72, м. Дніпро, 49010 Україна

<sup>3</sup>Дніпровський державний технічний університет, вул. Дніпробудівська 2, м. Кам'янське, 51918, Україна

### Анотація

Розроблено технологію отримання закваски на основі чистих культур молочнокислих бактерій без додавання хлібопекарських дріжджів та синтетичних домішок. У якості поживної суміші запропоновано цільнозернове спельтове, пшеничне та безглютенове соєве борошно. Досліджено процес ферментації закваски за фізико-хімічними показниками – піднімальною силою за кулькою та титрованою кислотністю при температурах культивування симбіозу чистих молочнокислих бактерій 22 °C та 40 °C. Для інтенсифікації процесу ферментації введено додаткові субстрати – лактулоза, сорбіт, лактоза, фруктоза у концентраціях 2, 4, 6, 8 %. Ефективність використання нуклеотиду аденозинтрифосфату було досліджено у зразках закваски за концентрацій 25, 50, 75, 100 мг/кг борошна. Досліджені зразки заквасок за якісними показниками мають стабільну форму пастоподібної консистенції з кислотністю 10–14 град., піднімальною силою за кулькою не вище ніж 25 хв., вологістю 48–50 %. Найкращими за результатами органолептичної оцінки, показниками пористості вважаються зразки функціонального хліба, виготовленого на заквасці з додаванням лактулози та аденозинтрифосфату.

\*Corresponding author: e-mail: [irina.kornienko.1979@gmail.com](mailto:irina.kornienko.1979@gmail.com)

© 2021 Oles Honchar Dnipro National University

doi: 10.15421/082115

Методом математичного моделювання з використанням сплайн-апроксимації встановлено оптимальні технологічні параметри для мінімізації часу технологічного циклу виведення закваски з додаванням лактулози та нуклеотиду аденозинтрифосфату. Встановлено оптимальні концентрації лактулози та нуклеотиду аденозинтрифосфату, які становлять 4.34 % та 46.7 мг/кг борошна відповідно. Дана технологія адаптована для потужних та крафтових пекарень.

*Ключові слова:* оптимізація, технологічний процес, сплайн модель, біосинтез, ферментація, лактулоза, аденозинтрифосфат, біомаса, молочнокислі бактерії.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАЦИИ ПИТАТЕЛЬНОЙ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЛАЙН ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Ирина М. Корниенко<sup>1</sup>, Олег П. Луценко<sup>2</sup>, Владимир М. Исаенко<sup>1</sup>, Михаил М. Барановский<sup>1</sup>, Андрей С. Анацкий<sup>3</sup>, Людмила П. Ларичева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, пр. Любомира Гузара 1, г. Киев, 03058, Украина

<sup>2</sup>Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, пр. Гагарина 72, г. Днепр, 49010 Украина

<sup>3</sup>Днепропетровский государственный технический университет, ул. Днепропетровская 2, г. Каменское, 51918, Украина

### Аннотация

Разработана технология получения закваски на основе чистых культур молочнокислых бактерий без использования хлебопекарских дрожжей и синтетических добавок на основе цельнозерновой спельтовой, пшеничной и безглютеновой соевой муки. Исследован процесс ферментации закваски относительно физико-химических показателей – подъемной силы по шарик и титрованной кислотности при температурах ферментации 22 °С, 40 °С. Для интенсификации процесса ферментации в состав заквасок введены дополнительные субстраты – лактулоза, сорбит, лактоза, фруктоза в концентрациях 2, 4, 6, 8 %. Эффективность использования нуклеотида аденозинтрифосфата была исследована в образцах закваски при концентрациях 25, 50, 75, 100 мг/кг муки. Исследованные образцы заквасок относительно качественных показателей имеют стабильную форму пастообразной консистенции с кислотностью 10–14 град., подъемной силой по шарик не более чем 25 мин., влажностью 48–50 %. Лучшими по результатам оценивания органолептических показателей, а также пористости являются образцы функционального хлеба, приготовленного на закваске с добавлением лактулозы и аденозинтрифосфата. Методом математического моделирования с использованием сплайн-интерполяции установлены оптимальные технологические параметры для минимизации времени время технологического цикла получения закваски с использованием лактулозы и нуклеотида аденозинтрифосфата. Установлены оптимальные концентрации для лактулозы и нуклеотида аденозинтрифосфата, которые составляют 4.34 % та 46.7 мг/кг муки, соответственно. Данная технология адаптирована для крупных и крафтовых пекарен.

*Ключевые слова:* оптимизация, технологический процесс, сплайн модель, биосинтез, ферментация, лактулоза, аденозинтрифосфат, биомасса, молочнокислые бактерии.

### Вступ

Основним продуктом щоденного споживання як на Україні, так і в усьому світі залишається хліб. Нажаль, сучасні хлібобулочні виробни є висококалорійними та мають низьку харчову цінність. До рецептури хлібобулочних виробів все частіше, додаються речовини хімічного походження – емульгатори, стабілізатори (E466, E412), вологоутримуючі агенти, окиснювачі, підсилювачі піднімальної сили тіста та підкислювачі у разі пришвидшеної технології бродіння, консерванти для пролонгації терміну зберігання готових виробів. У якості розпушувачів задля збільшення пористості готових виробів та їх питомого об'єму використовують наступні хімічні компоненти: амоній фосфат (E342), кальцій карбонат (E170), кальцій фосфат (E341), які негативно впливають на ендоекологію людини при щоденному вживанні даного продукту [1]. За рахунок використаних хімічних поліпшувачів якості хлібобулочних виробів, а саме: калій фосфату (E339), емульгаторів (E471, E472, E481, E482),

пропіонової кислоти та натрій пропіонату (E280, E281), натрій діацетату (E262), сульфур (IV) оксиду (E220), сорбатів (E200-203), натрій піросульфату, кальцій пероксиду та бензоїлу, карбаміду, броматів калію та кальцію, каррагінану – під час випікання утворюються сполуки, які відносяться до групи канцерогенних речовин (наприклад, акриламід). Всі ці фактори викликають негативне ставлення лікарів щодо безпеки хліба та хлібобулочних виробів для організму людини, хворої на діабет, алергії, порушення системи травлення та метаболізму в цілому. Звертаючи увагу на вищеперераховані негативні фактори, перспективним напрямком у вирішенні даного питання є розробка удосконаленої технології виробництва функціонального хліба на основі закваски з повним циклом ферментації, який відбувається за рахунок ферментів молочнокислих бактерій.

У науковій літературі не виявлено достатньо інформації щодо оптимізації технологічних параметрів відносно технології хлібопечення на заквасці при використанні

різних комбінацій борошна та їх співвідношень. Особливо це стосується поживних сумішей на основі борошна із органічної спельти. Відомо, що даний вид пшениці володіє низькими хлібопекарським властивостями, але високою харчовою цінністю. Це стало підґрунтям для досліджень сучасних підходів спрямованого культивування молочнокислих бактерій без використання хлібопекарських дріжджів та хімічних поліпшувачів за рахунок оптимізації технології методом математичного моделювання. Також постійно зростає інтерес споживачів, науковців і технологів до виробництва хліба, котрий не містить чистих дріжджових культур та хімічних домішок (наприклад, поверхнево-активних речовин у якості розрихлювачів), а готується із використанням тільки натуральної сировини і різних видів заквасок задля отримання корисного функціонального хліба повного бродіння з підвищеним вмістом нутрієнтів та складних вуглеводів.

*Аналіз літературних джерел.* У роботі досліджено та розглянуто фактори, які сприяють формуванню видового складу закваски, з особливим акцентом на молочнокислі бактерії: *L. plantarum*, *L. casei*, *L. brevis*, *L. Fermnti*. *B. Bifidum*. Доведено співпадання екосистеми закваски та кишечника людини, що є дуже актуальним для збереження здоров'я [3]. Встановлено, що лактобацили містять спеціалізовані пептидази, які здатні гідролізувати пептиди [4–6]. Науковцями доведено, що хліб, випечений на заквасках з підвищеним вмістом молочнокислих бактерій, має більш низький глікемічний індекс, ніж у інших варіантів дріжджового хліба (пшеничний, житньо-пшеничний та цільнозерновий із висівками), які було виготовлено із додаванням дріжджів *S. cerevisiae* та *S. Minor*, *Candida*. Дослідниками встановлено, що молочна кислота, яка синтезується молочнокислими бактеріями під час ферментації, знижує рівень клейстеризації крохмалю, котрий набуває властивостей повільно засвоюваних вуглеводів, що є актуальним для бажаючих схуднути [5; 6].

Багатьма науковцями [7–10] проведені дослідження в напрямку розробки технології виведення різних видів заквасок на основі симбіозу молочнокислих бактерій та дріжджів. Досліджені закваски, які виготовлено на основі борошняної суміші із пшеничного, вівсяного, просового та гречаного видів борошна. Експериментально доведено

позитивну роль молочнокислих бактерій у заквасках. А саме, встановлено, що після 24 годин ферментації даної борошняної суміші лактобактеріями гліадіни пшеничного борошна (спирторозчинна фракція глютену) та низькомолекулярні поліпептиди повністю гідролізувалися. Завдяки даному відкриттю хліб, виготовлений на заквасці із чистих культур молочнокислих бактерій, можна вживати хворим на целіакію – захворювання, пов'язане із патологічним порушенням роботи кишечника (глютеніна ентеропатія, кишечний інфантилізм, захворювання Жи-Гертера-Гейбнера), за якого відмічається непереносимість глютену зернових культур [10; 11].

У розглянутих авторами зразках заквасок (рідких та густих) зафіксовано переважну присутність молочнокислих бактерій у порівнянні із дріжджовими культурами, що підтверджено експериментальними даними У горіхово-анісовій заквасці співвідношення дріжджів до молочнокислих бактерій дорівнює 1 : 3.7, для зразків заквасок, виведених на винних дріжджах, відмічається перевага дріжджів над молочнокислими бактеріями 1 : 0.3. У рідких дріжджових заквасках, приготованих за класичною схемою, це співвідношення становить 1 : 1 [12–13].

Відмінність даної роботи від проаналізованих полягає у створенні направлених умов культивування молочнокислих бактерій за рахунок використання специфічного субстрату – олігосахариду лактулози, який не передбачає створення конкурентних умов за даний субстрат між молочнокислими бактеріями та дріжджами (дріжджі не містять ферментів розщеплення лактулози на відміну від молочнокислих бактерій). Особливістю даної роботи порівняно з проаналізованими є дослідження впливу джерела енергії у вигляді нуклеотиду аденозинтрифосфату на пришвидшення процесу ферментації поживної борошняної суміші, виходячи з наукових основ процесу гомо- та гетероферментативного зброджування молочнокислими бактеріями.

Авторами [14] досліджено технологію отримання французької закваски. Було встановлено оптимальне співвідношення молочнокислих бактерій та дріжджів. Запропоновано оцінювати якість закваски за показниками: рН, загальна титрована кислотність та вміст органічних кислот.

Авторами [15] запропоновано використання багатовидової заквасочної культури в практиці приготування закваски. Науковцями досліджено 15 сортів манної крупи (із 10 старих та 5 сучасних генотипів, вирощених на о. Сицилія) в практиці приготування функціонального хліба [16].

Науковцями [17] проведено дослідження, направлені на використання сучасних підходів в області хлібопечення. Рекомендовано використовувати безглютенові комбінації різних сортів борошна шляхом їх ферментації симбіозом молочнокислих бактерій та дріжджів роду *Candida*. Безглютенові види борошна рекомендовано вводити в рецептуру приготування тіста [18]. Відмінність даної роботи від вищенаведених полягає в тому, що в запропонованій технології відбувається введення безглютенового виду борошна – сої та низькоглютенового виду борошна – спельти не тільки до рецептури хліба, а і до самої закваски задля підвищення його харчової цінності. Введення соєвого борошна до закваски є обґрунтованим з точки зору харчових властивостей та потреб молочнокислих бактерій. Продукти переробки сої входять до складу елективних поживних середовищ для культивування мікроорганізмів.

В основі математичного апарату, який використано в даній статті, лежать сплайни. Сплайни є популярним способом вирішення задач апроксимації та інтерполяції експериментальних даних. Найчастіше вони використовуються в якості інструменту проміжних геометричних побудов у задачах побудови топологій або оптимізації форм геометричних об'єктів [19; 20].

У цих та подібних статтях мова йде про геометричні задачі, в яких сплайн представляє фізично існуючий об'єкт, а не набір експериментальних даних у часі. У статті [21] застосована одновимірна модель сплайн-апроксимації, але задачі побудови багатовимірних сплайнів та інтерполяційні моделі не розглядаються.

У статті [22] модель на основі сплайн-поверхонь використана для інтерполяції медичних експериментальних даних з метою прогнозування. Це має спільні риси з підходом, який розглянуто в даній статті, але задачі оптимізації не вирішуються.

У роботі [23] застосована побудова багатовимірної сплайн-поверхні на основі В-сплайн апроксимації. На отриманих поверхнях вирішується задача оптимізації з побудовою градієнтів.

Автори статті [24] пропонують універсальний підхід до побудови оптимізаційних функцій на основі В-сплайн апроксимації. На відміну від даної статті, в обох працях розглянуто лише В-сплайн апроксимацію і не розглянуто використання інтерполяційних сплайн-поверхонь. У даній статті застосована інтерполяція сплайн-поверхнями.

З урахуванням результатів попередніх досліджень, метою роботи є розробка сплайн-моделі процесу оптимізації виведення закваски на основі молочнокислих бактерій за рахунок введення додаткового субстрату лактулози, який створює умови направленої культивування молочнокислих бактерій.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- вивчити вплив цукрозамінників – лактулози, сорбіту, лактози, фруктози та джерела енергії у вигляді нуклеотиду аденозинтрифосфату на фізико-хімічні показники виведення закваски (титрована кислотність, піднімальна сила за кулькою);
- встановити оптимальну концентрацію найкращого субстрату серед досліджених для реалізації прискореного процесу ферментації поживної суміші;
- визначити вплив цукрозамінників на приріст біомаси та титр молочнокислих бактерій;
- оптимізувати технологію виведення закваски шляхом побудови сплайн-моделі на основі експериментальних даних.

### Експериментальна частина

*Матеріали та методи досліджень.* Для реалізації досліджень використано наступні матеріали: лактулоза рідка («Лекхім», Україна), джерело аденозинтрифосфату - препарат АТФ лонг («Борщаговський ХФЗ», Україна), сорбіт («Барвіста», Україна), лактоза («Polmeek», Польща), фруктоза («Барвіста», Україна), борошно цільнозернове спельтове, пшеничне («Екород», Україна), борошно соєве («ОрганікЕкоПродукт», Україна), вода дистильована (ДСТУ ISO 3696:2003), гідроксид натрію (ДСТУ 7258:2012), фенолфталеїн (ДСТУ 8056:2015), Лактоагар та Біфідоагар («Фармактив», Україна, ТУ У 24.4-37219230-001:2011), закваска консорціуму молочнокислих бактерій торгівельної марки Vivo (Україна, ISO 9001:2008, ISO 22000:2005) метиленовий синій (ДСТУ 8056:2015).

Основне обладнання: терези аналітичні, електронні Radwag серії AS 310, R2 (Польща),

термостат сухоповітряний ТС-20 (Росія), термометр ртутний ТЛ (Росія).

Методика досліджень складається з основних етапів: виведення закваски з додаванням стимуляторів росту молочнокислих бактерій – лактулози, сорбіту, лактози, фруктози та аденозинтрифосфату; пробні випічки хліба на основі заквасок (ГОСТ 27669-88); визначення органолептичних показників хліба (ГОСТ – 65. «Хліб та хлібобулочні вироби. Правила приймання, методи відбирання зразків, методи визначення органолептичних показників і маси виробів»); оптимізація параметрів процесу виведення заквасок методом математичного моделювання. Під час виведення заквасок здійснювали регулярний контроль технологічних параметрів процесу: титрована кислотність (ГОСТ 5670-96. «Хлібобулочні вироби, методи визначення кислотності»), піднімальна сила за кулькою за загальноприйнятою методикою [25; 26]. Біомасу молочнокислих бактерій та вологість визначали ваговим методом за загальноприйнятою методикою [25; 26]. Кількість лакто- та біфідобактерій визначали згідно з ГОСТ 26670-91 «Продукти харчові, методи культивування мікроорганізмів». До підготовчих робіт віднесено підготовку компонентів: пробіотичного препарату, борошна, додаткових субстратів – лактулози, сорбіту, лактози, фруктози та джерела аденозинтрифосфату – препарату АТФ лонг. З метою отримання достовірних результатів досліджень експериментальні дані підлягали оптимізації методом математичного моделювання з використанням сплайнів. Математичну обробку результатів досліджень проводили за допомогою комп'ютерних програм Microsoft Excel. Експериментальні дослідження проводилися в двократній повторності. Похибка експериментальних досліджень знаходилася в межах та не перевищувала 5 %.

**Підготовка компонентів.** Задля отримання закваски для хлібопечення зі сталим консорціумом молочнокислих бактерій запропоновано використовувати комерційний препарат чистих культур торгівельної марки Vivo (Україна), якість якого підтверджено сертифікатами Міжнародної організації, що відповідає Європейським стандартам якості. Біопрепарат Vivo – це симбіотичний комплекс чистих культур: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus*,

*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus paracasei*, *Bifidobacterium infantis*. Особливістю протікання першої фази розведення закваски є введення біопрепарату чистих культур молочнокислих бактерій закваски Vivo наважкою 1.0 г на 3 кг борошна в сухому вигляді без попереднього розведення в молоці та культивування в термостатних умовах для нарощування біомаси, що дозволило скоротити час, витрачений на цю додаткову стадію. Для виведення закваски використано просіяну поживну борошняну суміш – соєве, цільнозернове спельтове та пшеничне борошно у співвідношенні 1 : 1 : 2. Методом уточнюючих розрахунків встановлено необхідне співвідношення борошняної суміші та води для закваски і тіста. Враховуючи вологість борошняної суміші, яка становить 14 %, для приготування закваски з вологістю 48 % було взято 1.0 кг борошняної суміші та 1 дм<sup>3</sup> підготовленої очищеної води з урахуванням додатково введених компонентів (лактулози, сорбіту, лактози, фруктози). Дані компоненти були внесені до закваски шляхом попереднього розведення у воді у співвідношенні до маси використаного борошна від 2.0 до 8.0 % відповідно. Нуклеотид аденозинтрифосфат було введено до зразків закваски у кількості 25, 50, 75 та 100 мг /кг борошна. Завдяки використанню у складі закваски соєвого та цільнозернового спельтового, пшеничного видів борошна (ці види борошна мають покращену вологоутримувальну здатність за рахунок висівок) вдалося зменшити кількість борошна у складі закваски та тіста в цілому на 13.8 % у порівнянні із закваскою та тістом, виготовленими виключно на пшеничному борошні вищого сорту.

Технологію виведення густої закваски з вологістю 48–50 % реалізовували за загальноприйнятою методологією [25; 26], яка складається з 5 циклів розведення. Технологія виведення закваски ґрунтується на ферментації поживної суміші сталим консорціумом молочнокислих бактерій. Оновлювання закваски проводили кожні 12 годин, а вимірювання технологічних параметрів процесу здійснювали 1 раз на добу. З метою визначення впливу чистих культур молочнокислих бактерій на процес ферментації, кислотонакопичення та піднімальної сили, проведено паралельне вирощування закваски без використання додаткових стимуляторів росту (контроль). Закваски розподілялися на приготування тіста та відновлення. За класичною

технологією виведення закваски застосовують температурний режим у межах інтервалу 28–32 °С. У представленій роботі досліджено вплив двох температурних режимів культивування мікрофлори закваски: перший режим – за 22 °С, другий режим – за 40 °С. Другий режим культивування обирали, спираючись на рекомендації виробника препарату чистих культур молочнокислих бактерій, а також технологічних рекомендації щодо виведення концентрованої молочнокислої закваски прискореним методом. Додаткові компоненти вводили на початку кожного циклу розведення відповідно до внесеної маси борошняної суміші. Отримана закваска по закінченню терміну розведення мала стабільну форму пастоподібної консистенції з кислотністю 10–14 град, вологістю 48–50 %, зі вмістом молочнокислих бактерій не менше, ніж  $1 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup> в усіх зразках, окрім контрольного. Виведену закваску у кількості 35 % було внесено до складу тіста відносно загальної маси борошна. Біотехнологія хліба на основі досліджених зразків заквасок складалася із наступних стадій: замішування тіста, ферментація, розподіл на тістові заготовки, розстойка, випікання, охолодження. Оцінювання досліджених зразків хліба виконували згідно ДСТУ –П-4588-2006 «Вироби хлібобулочні для спеціального дієтичного споживання», ДСТУ – П-4583: 2006 «Хліб із житнього та суміші житнього і пшеничного борошна». Дані стандарти було обрано для оцінювання випечених зразків хліба, виготовленого на запропонованій борошняній суміші.

### Результати та їх обговорення

Задля встановлення оптимальних параметрів технології виведення закваски з низьким вмістом глютену на основі ферментованої поживної суміші спельтово-соевого борошна з покращеними хлібопекарськими властивостями, досліджено вплив субстратів (цукрозамінників) та нуклеотиду аденозинтрифосфату (АТФ лонг) на якісні характеристики закваски, біомасу та титр молочнокислих бактерій.

АТФ – нуклеотид аденозинтрифосфат ( $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$ ), який містить аденін, рибозу та трифосфатні групи. АТФ є головним донором енергії, яка використовується клітиною, але не є формою запасання енергії. АТФ бере участь в енергетичному обміні у всіх живих організмах, у процесах росту та відтворення. Молекула АТФ є носієм енергії, оскільки її трифосфатний

компонент містить два фосфоангідридні зв'язки.

Лактулоза ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) – синтетичний олігосахарид (4-О-β-галактопіранозил-D-фруктоза, не зустрічається в природі), температура плавлення 169 °С, глікімічний індекс 0, калорійність 4 кал/г.

Сорбіт ( $C_6H_{14}O_6$ ) – органічний шестиатомний спирт, міститься у фруктах (2S,3R,4R,5R-гексан-1,2,3,4,5,6-гексол), температура плавлення 95 °С, глікімічний індекс 5, калорійність 260 кал/г.

Лактоза, дісахарид ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )– молочний цукор (β-D-галактопіранозил-(1→4)-D-глюкоза), температура плавлення 202 °С, глікімічний індекс 46, калорійність 48 кал/г.

Фруктоза ( $C_6H_{12}O_6$ ) – моносахарид (α-L-фруктофураноза – (2S,3R,4S,5S)-2,5-бис(гідроксиметил)оксолан-2,3,4-триол), плодовий цукор, температура плавлення 104 °С, глікемічний індекс 20, калорійність 339 кал/г.[27]. За переліченими показниками безперечним лідером, особливо за показниками температури плавлення, глікімічного індексу та калорійності є лактулоза. Хлібобулочні вироби з використанням лактулози можна запропонувати хворим на діабет у рекомендованих дозах. В організмі людини відсутні ферменти, які здатні гідролізувати лактулозу до галактози і фруктози, тому вона виступає у ролі пребіотика. Лактулоза проходить через шлунково-кишковий тракт в незмінному вигляді і сприяє розмноженню мікроорганізмів кишечника, корисних для здоров'я людини. Особливістю гомо- та гетерогенного типу бродіння лактулози є біосинтез коротколанцюгових жирних кислот – оцтової та масляної. Медиками [28] підтверджено лікувальний ефект коротколанцюгових жирних кислот, які синтезуються біфідо- та лактобактеріями в результаті мікробної ферментації вуглеводів, також біосинтезу похідних – ацетату та бутирату. Встановлено, що ці кислоти, потрапляючи до кишечника людини, нейтралізують харчові канцерогени, сприяють підвищенню імунітету, впливають на енергозабезпечення та іонний обмін.

З метою оцінки процесу ферментації борошняної складової під час проведення 5 циклів розведення закваски виконали попереднє визначення кислотності титриметричним методом 3 видів борошна – спельтового (4.1 град.) цільозернового пшеничного (3.6 град.) та соєвого (10.5 град.).

Після приготування закваски початкова кислотність для усіх зразків становила 5.8 град., піднімальна сила за кулькою для усіх зразків закваски до початку ферментації була відсутня. В табл. 1–3 наведено результати досліджень впливу цукрозамінників та

нуклеотиду аденозинтрифосфату на процес гомо- та гетероферментативного молочнокислого зброджування за такими наступними параметрами: піднімальна сила за кулькою та кислотність за двох температурних режимів культивування 22 °C/ 40 °C.

Табл. 1

## Технологічні показники закваски при додаванні цукрозамінників – лактулози та сорбіту

Table 1

Technological indicators of leaven with the addition of sugar substitutes - lactulose and sorbitol								
Технологічні показники	Види заквасок при 2 температурних режимах культивування 22 °C /40 °C							
	Закваска з лактулозою				Закваска з сорбітом			
Вміст, %	2	4	6	8	2	4	6	8
Перший цикл розведення (24 год.)								
22 °C/ 40 °C Кислотність, град.	6.8/9.2	7.2/11.0	7.4/12.1	7.6/12.5	6.5/9.8	6.8/11.5	7.1/12.8	8.2/13.6
22 °C/ 40 °C Піднімальна сила, хв.	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Другий цикл розведення (48 год.)								
22 °C/ 40 °C Кислотність, град.	7.4/11.4	9.0/13.2	9.6/15.2	9.8/16.0	7.5/13.5	8.7/16.0	9.2/17.1	10.2/17.7
22 °C/40 °C Піднімальна сила, хв.	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Третій цикл розведення (72 год.)								
22 °C/ 40 °C Кислотність, град.	9.0/14.0	12.7/16.9	13.1/18.3	13.4/19.1	9.0/15.3	10.6/17.2	11.3/18.6	12.4/19.4
22 °C/40 °C Піднімальна сила, хв.	46/60	31/50	39/53	44/60	46/61	40/56	45/58	50/63
Четвертий цикл розведення (96 год.)								
22 °C/ 40 °C Кислотність, град.	11.5/17.7	14.0/19.5	14.4/21.9	14.7/22.3	9.8/16.9	11.3/17.8	12.4/18.6	13.3/19.4
22 °C/ 40 °C Піднімальна сила, хв.	39 /43	20/38	23/43	35/48	43/51	40/51	44/55	50/59
П'ятий цикл розведення (120 год.)								
22 °C/ 40 °C Кислотність, град.	11.5/17.8	14.0/19.6	14.4/21.9	14.7/22.4	9.9/17.0	11.4/17.9	12.4/18.6	13.4/19.6
22 °C/40 °C Піднімальна сила, хв.	39 /43	20/38	23/43	35/48	41/50	38//50	43/55	48/59

\*-/– кулька не спливає

Аналізуючи результати досліджень (табл. 1–3) встановлено, що підвищення температури культивування молочнокислих бактерій на поживній суміші із спельтово-соевого та пшеничного борошна недоцільно, враховуючи результати кислотності та піднімальної сили. Незважаючи на пришвидшення процесу ферментації борошняної складової за температури культивування 40 °C, про що свідчать результати нарощування кислотності в досліджених зразках, відбувається збільшення

часу піднімальної сили тіста за кулькою у порівнянні із ферментацією за температури 22 °C. З точки зору енергоефективності даної технології ферментацію доцільно проводити при температурі 22 °C. Аналізуючи наведені результати експериментальних досліджень щодо доцільності використання цукрозамінників у практиці виведення закваски, можливо стверджувати, що найкращім за оцінкою технологічних параметрів є лактулоза. За умови додавання її до складу закваски відбувається пришвидшення часу

ферментації борошняної суміші з прямо молочнокислих бактерій та їх титру (кількість пропорційним збільшенням біомаси життєздатних клітин (рис.1)).

Табл. 2

**Технологічні показники закваски при додаванні цукрозамінників – лактози та фруктози**

Table 2

**Technological indicators of leaven with the addition of sugar substitutes – lactose and fructose**

Технологічні показники	Види заквасок при 2 температурних режимах культивування 22 °С /40 °С							
	Закваска з лактозою				Закваска з фруктозою			
Вміст, %	2	4	6	8	2	4	6	8
Перший цикл розведення (24 год.)								
22 °С/40 °С	6.6/9.1	7.2/10.7	7.5/11.8	7.8/13.5	6.4/9.0	6.8/9.6	7.2/10.0	7.6/10.8
Кислотність, град.								
22 °С/ 40°С	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Піднімальна сила, хв.								
Другий цикл розведення (48 год.)								
22 °С/ 40 °С	7.8/12.6	8.4/14.2	9.4/16.2	9.8/17.0	7.4/12.1	7.9/13.3	8.5/14.8	9.1/16.1
Кислотність, град.								
22 °С/ 40 °С	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Піднімальна сила, хв.								
Третій цикл розведення (72 год.)								
22 °С/40 °С	8.8/	9.7/	10.6/	11.4/	8.9/	9.4/	9.9/	10.0/
Кислотність, град.	14.7	16.9	17.8	18.8	13.9	15.7	16.6	17.5
22 °С/40 °С	50/-	43/54	40/57	47/60	52/62	48/58	46/55	50/60
Піднімальна сила, хв.								
Четвертий цикл розведення (96 год.)								
22 °С/40 °С	9.4/	11.0/	12.5/	13.2/	9.3/	10.4/	11.8/	12.7/
Кислотність, град.	15.3	16.4	17.9	19.0	14.3	16.2	17.7	18.3
22 °С/ 40°С	41 /53	37/48	36/45	40/52	44/56	40/50	38/47	41/52
Піднімальна сила, хв.								
П'ятий цикл розведення (120 год.)								
22 °С/ 40 °С	9.4/	11.0/	12.5/	13.2/	9.4/	10.4/	11.9/	12.7/
Кислотність, град.	15.3	16.4	17.9	19.0	14.4	16.4	17.8	18.3
22 °С/40 °С	41 /53	37/48	36/45	39/51	43/55	40/51	38/47	41/52
Піднімальна сила, хв.								

\*-/- куля не спливає

Табл. 3

**Порівняльна характеристика параметрів закваски виведеної з додаванням аденозинтрифосфату та контрольного зразку**

Table 3

**Comparative characteristics of the parameters of leaven derived with the addition of the drug Atf long and control sample**

Технологічні показники	Види заквасок при 2 температурних режимах культивування 22 °С /40 °С				
	Закваска з АТФ лонг				Контроль
Вміст, мг/кг борошна	25	50	75	100	-
Перший цикл розведення (24 год.)					
22 °С/ 40 °С	7.8/11.7	8.4/15.0	8.9/15.4	9.1/15.6	6.0/7.1
Кислотність, град.					
22 °С/40 °С	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Піднімальна сила, хв.					
Другий цикл розведення (48 год.)					



Продовження табл. 3					
22 °C/40 °C	8.8/15.3	10.1/16.4	11.0/18.5	11.1/19.0	7.4/10.2
Кислотність, град.					
22 °C/ 40 °C	41/45	34/37	32/36	32/36	-/-
Піднімальна сила, хв.					
Третій цикл розведення (72 год.)					
22 °C/40 °C	10.3/18.0	14.0/19.2	15/19.7	15.3/20.0	8.2/12.5
Кислотність, град.					
22 °C/ 40 °C	31/36	22/30	21/29	21/28	60/-
Піднімальна сила, хв.					
Четвертий цикл розведення (96 год.)					
22 °C/40 °C	12.4/20.2	16.2/23.2	16.9/23.5	17.4/23.8	9.2/13.7
Кислотність, град.					
22 °C/ 40 °C	25/34	16/24	14/23	14/22	49/-58
Піднімальна сила, хв.					
П'ятий цикл розведення (120 год.)					
22 °C/40 °C	12.4/20.3	16.1/23.3	16.9/23.6	17.4/23.8	9.3/13.8
Кислотність, град.					
22 °C/ 40 °C	25/34	16/24	14/23	14/22	48/57
Піднімальна сила, хв.					

\*-/- кулька не спливає

Введення аденозинтрифосфату у кількості 25–50 мг/кг до борошняної суміші, яка підлягала гідролізу в процесі ферментації закваски молочнокислими бактеріями, сприяло скороченню часу виведення закваски (з 96 до 72 годин) з досягненням оптимальних показників її якості (табл. 3). З аналізу результатів досліджень, які наведено у таблиці 3, було встановлено, що завдяки додаванню АТФ відбулося інтенсивне зброджування борошняної суміші, про що свідчать показники титрованої кислотності (14–16 град.) та піднімальної сили закваски за кулькою (16–25 хв.), що повною мірою відповідає встановленим вимогам до заквасок [30]. З порівняння дослідних зразків закваски (з додаванням АТФ) із контрольним зразком (контрольний зразок закваски виготовлено виключно із борошняної суміші та підготовленої води у співвідношенні 1:1 із додаванням чистих культур молочнокислих бактерій) встановлено, що процес ферментації у випадку двох температурних режимів є довготривалим (120 годин) та має невідповідні показники титрованої кислотності (9.3 град., коли рекомендовано 12–14 град.), піднімальної сили за кулькою (більше ніж 25 хвилин, а саме – 48 хвилин). Представлені технологічні параметри процесу виведення закваски (на прикладі контрольного зразку) є незадовільними, що пояснюється використанням у складі закваски спельтового борошна, яке містить складні вуглеводи. Це призводить до збільшення часу ферментації симбіозом чистих культур

молочнокислих бактерій задля їх гідролізу у легкодоступні вуглеводи (глюкоза) за рахунок власної енергії – АТФ. Відомо, що процеси гомо- та гетероферментативного зброджування протікають із незначним виділенням енергії АТФ, яка витрачається на процес ферментації субстрату та нарощування власної біомаси.

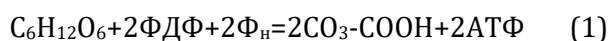
Як відомо [29], процес гідролізу 1 молю АТФ до АДФ супроводжується виділенням енергії у кількості 40 кДж. Молекулярна маса АТФ дорівнює 504 г/моль. Внесення до складу закваски препарату АТФ лонг у кількості 25, 50, 75, 100 мг/кг борошна згідно з перерахунком відповідає кількості АТФ 0.00005, 0.0001, 0.00015, 0.0002 моль, що дозволить додатково отримати 0.002, 0.004, 0.006 та 0.008 кДж енергії на 1 кг борошна відповідно. Внесення додаткової кількості енергії у закваску дозволяє зменшити власні витрати клітини на окиснення субстрату і спрямувати її на накопичення біомаси. Дані табл. 3 і рис. 1 підтверджують, що при додаванні АТФ лонг до закваски відбувається підвищення приросту біомаси до 20.2 г/дм<sup>3</sup> та титру біфідобактерій до  $0.9 \cdot 10^{12}$  КУО/мл, лактобактерій до  $0.15 \cdot 10^{11}$  КУО/мл.

Експериментами доведено обґрунтованість рішення щодо введення АТФ лонг до закваски задля пришвидшення процесу зброджування поживної суміші симбіозом чистих культур молочнокислих бактерій. Це пояснюється тим, що при внесенні нуклеотиду аденозинтрифосфату одразу вивільняється енергія для запуску енергозатратних хімічних

реакцій (екзергонічний процес), тоді як сам синтез АТФ в клітинах – це ендергонічний процес, який потребує додаткового введення джерел енергії – субстратів (в даному випадку це лактулоза, сорбіт, лактоза та фруктоза, борошняна поживна суміш). Внесення додатково джерела АТФ у процесі виведення закваски є доцільним рішенням, враховуючи кількість вивільненої АТФ за анаеробної ферментації (процес бродіння – гліколіз та окиснювальне фосфорилування – пентозофосфатний шлях). У результаті гліколізу синтезується тільки 2 молекули АТФ, а в результаті окиснювального фосфорилування – 1 молекула АТФ, отримана шляхом перетворення 1 молекули глюкози. У той час, коли кожен цикл бета-окиснення жирних кислот дає 14 молекул АТФ, а при дихальному процесі окиснення – 28 молекул АТФ. При гідролізі АТФ до аденозиндіфосфату (АДФ) та ортофосфату або до аденозинмонофосфату (АМФ) та пірофосфату виділяється енергія у достатній кількості.

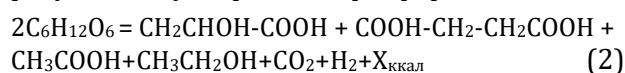
У результаті катаболічних біохімічних процесів гліколізу синтезується відновлений кофермент NADH. Він містить електрони з високим потенціалом переносу, який супроводжується виділенням енергії. Але клітина не виділяє усю енергію одразу, щоб упередити неконтрольовану реакцію. Замість цього електрони видаляються з NADH і передаються кисню через ферменти, кожен з яких виділяє невеличку кількість енергії. Цей набір ферментів відображає ланцюг переносу електронів і знаходиться у внутрішній мембрані мітохондрії. Протони накопичуються у міжмембранному просторі та генерують електрохімічний градієнт потенціалу через мембрану. Запаси енергії цього градієнту використовуються АТФ-синтазою (синтетази або АТФ-ази) для утворення АТФ. У результаті гомоферментативного зброджування (рівняння 1) утворюється молочна кислота (90 %), інші 10 % – оцтова кислота, ацетат, ацетоїн, етанол. У якості субстрату використовуються переважно такі субстрати:

моно та дисахариди (лактоза, глюкоза, а також – органічні кислоти).



Гомоферментативне зброджування активізують представники молочних стрептококів – *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus thermophilus*, та багатьох видів роду *Lactobacillus* - *L. bulgaricus*, *L. lactis*, *L. helveticus*, *L. acidophilus*, *L. Plantarum*.

У результаті гетероферментативного зброджування (рівняння 2), утворюються різні компоненти – молочна та янтарна кислота, етиловий спирт, вуглекислий газ, ацетат, гліцерин. Цей тип зброджування відбувається за пентозофосфатним шляхом і він характерний для біфідобактерій *B. bifidum*, лактобактерій видів *L. brevis*, *L. fermentum*, *L. cellobiosus* та *L. lactobacterium*, а також представники роду *Leuconostoc*. (*L. Dextranicum*). З енергетичної точки зору цей шлях катаболізму в 2 рази менш ефективний, ніж гліколітичний шлях окиснення глюкози, бо при окисненні 1 молекули глюкози утворюється 1 молекула АТФ. Але його цінність полягає у тому, що він забезпечує бактерії пентозами (рибулозо-6-фосфат), котрі є попередниками нуклеотидів та нуклеїнових кислот. Крім того, в цьому циклі утворюється 2 молекули НАДФ·Н<sub>2</sub>, які необхідні для відновлення реакцій біосинтезу. АТФ синтезується відповідно до енергетичного та конструктивного типів метаболізму (ці типи метаболізму характерні для лакто- та біфідобактерій), вони протікають одночасно у бактерій за рахунок послідовних ферментативних реакцій в результаті субстратного фосфорилування.



Деякі гомоферментативні бактерії у середовищі із пентозами починають виробляти каталазу та можуть переходити на гетероферментативний тип бродіння [29] У процесі біфідобродіння утворюється лактат та ацетат. Катаболізм вуглеводів відбувається за пентозофосфатним шляхом або шляхом Ентнера-Дудорова.

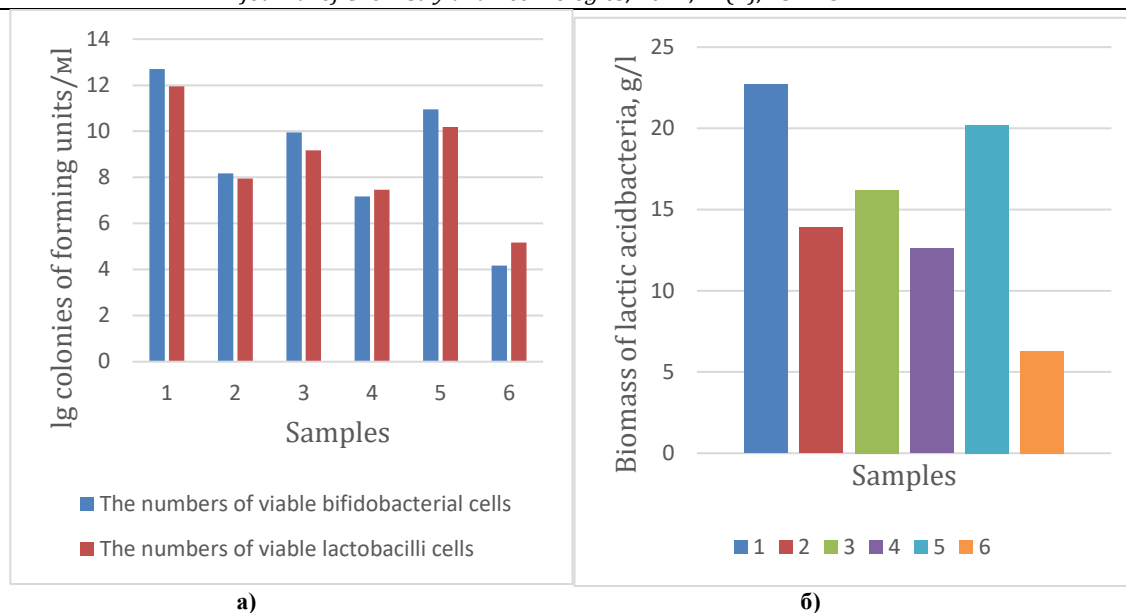


Рис. 1. Результат визначення титру (а) та біомаси (б) молочнокислих бактерій при додаванні цукрозамінників (4 % відносно маси внесеного борошна) та АТФ (50 мг/кг борошна) у заквасках: 1 – закваска з лактулозою, 2 – закваска з сорбітом, 3 – закваска з лактозою, 4 – закваска з фруктозою, 5 – закваска з АТФ лонг, 6 – контрольний зразок закваски (борошняна суміш 1.0 кг, вода 1 дм<sup>3</sup>)

Fig. 1. The result of determining the titer (a) and biomass (b) of lactic acid bacteria with the addition of sugar substitutes (4 % relative to the weight of the added flour) and ATP (50 mg / kg flour): 1 – leaven with lactulose, 2 – leaven with sorbitol, 3 – leaven with lactose, 4 – leaven with fructose, 5 – leaven with ATP long, 6 – control

Оцінюючи результати досліджень (рис.1) щодо визначення приросту біомаси в залежності від кількості додатково введеного субстрату встановлено, що найкращими субстратами є лактулоза та лактоза. При додаванні цих субстратів відбувається нарощування біомаси та збільшення титру молочнокислих бактерій (у 2 рази порівняно з контролем), тому що ці субстрати є найкращими для даних видів мікроорганізмів. За додавання сорбіту та фруктози відбувається незначне збільшення біомаси молочнокислих бактерій у порівнянні із контрольним зразком (на 20 %), але, враховуючи показники титрованої кислотності та часу піднімальної сили за кулькою, не рекомендовано їх використання в хлібопекарській практиці.

Узагальнюючі результати досліджень встановлюють, що лактулоза є найкращим субстратом для молочнокислих бактерій, особливо для розвитку біфідобактерій (lg12.17, що дорівнює  $1.5 \cdot 10^{12}$  КУО/мл). Лактулоза сприяє підтримці життєздатності клітин молочнокислих бактерій (кількість лактобактерій відповідає lg11.95, що дорівнює КУО/мл  $0.9 \cdot 10^{12}$  КУО/мл).

Завдяки додаванню лактулози, яка сприяє вологоутриманню та збільшенню вологості готових виробів на 1.5 %, відбувається часткове збереження бродильної мікрофлори під час випікання хліба. Збереження

життєздатності незначної частини кислотоутворюючих бактерій (титр лактобактерій – 220 КУО/г та біфідобактерій – 51 КУО/г) у м'якшій хліба пояснюється тим, що не випаровується деяка кількість вільної води та відбувається короточасне піднімання температури у центральній частині м'якуша вище 90 °С. Термофільні молочнокислі бактерії можуть знаходитися в бродильно-активному стані за достатньо високого температурного діапазону, який становить 75–80 °С, що також підтверджено літературними джерелами [25; 30; 31]. Згідно з стандартом ДСТУ –П-4583:2006 «Хліб із житнього та суміші житнього і пшеничного борошна» кількості мезофільних мікроорганізмів у хлібі є нормованим показником, який не повинен перевищувати  $1 \cdot 10^3$  КУО/г хліба.

Завдяки введенню аденозинтрифосфату відбувається практично повний гідроліз вуглеводів, за рахунок чого спостерігається зростання біомаси молочнокислих бактерій до концентрації 20.2 г/л, що підтверджено мікробіологічними дослідженнями. Титр (кількість життєздатних клітин) біфідобактерій становить  $0.9 \cdot 10^{12}$  КУО/мл (lg10.95); кількість лактобактерій становить  $0.15 \cdot 10^{11}$  КУО/мл, що відповідає антилогарифму числа 10.76. З порівняння результатів досліджень встановлено доцільність використання аденозинтрифосфату та лактулози в практиці

виведення закваски для хлібопекарських потреб.

Оскільки технологічні показники, за якими оцінювали якість заквасок з додаванням сорбіту, фруктози та лактози, не відповідають загальноприйнятим нормам, їх не рекомендовано використовувати в даній технології. Тому закваски з додаванням сорбіту, лактози та фруктози далі не розглядаються. З представлених даних у табл. 1–3 очевидно, що для цих заквасок не існує комбінації параметрів, за якої можливо досягти бажаних значень кислотності і піднімальної сили. З цієї ж причини аналіз технологічних параметрів за температури 40 °C також був недоцільним.

За оптимальний діапазон кислотності закваски було прийнято інтервал 10–14 град. (даний діапазон титрованої кислотності є рекомендованим та загальноприйнятим значенням в технології виведення закваски згідно літературних джерел [25; 26; 30]), піднімальна сила закваски повинна забезпечити підняття кульки не більше, ніж за 25 хвилин [25; 26; 30]. Задача оптимізації полягає в тому, щоб визначити оптимальну кількість рекомендованих компонентів (лактозу та аденозинтрифосфату), за якої вказані значення кислотності та піднімальної сили досягаються за мінімальний час технологічного циклу ферментації закваски. Скорочення часу технологічного циклу є економічно доцільним, бо зменшення часу виробництва зменшує енергозатрати, до того ж збільшується кількість виробленої продукції за одиницю часу. Оцінка технологічного параметру – піднімальна сила за кулькою – вважається одним із основних показників якості закваски, який має прямопропорційну залежність від інтенсивності протікання ферментаційних процесів під час гідролізу борошняної складової симбіозом чистих культур молочнокислих бактерій. Даний показник характеризує повноту гідролізу, за яким оцінюються бродильні процеси та ступінь газотворення. Якщо спливання кульки (виготовленої на основі закваски та

борошна) відбувається пізніше, ніж за 25 хв., то бродильні процеси у самому тісті будуть проходити уповільнено, зі збільшенням технологічного часу дозрівання тіста та розстойки. За умови невідповідності технологічних параметрів встановленим нормативним інтервалам досягти високої якості готових виробів за показниками – питомий об'єм, пористість, а також органолептичні показники – неможливо.

Оскільки для заквасок з додаванням сорбіту, лактози та фруктози не існує комбінації параметрів, за якої можливо досягти бажаних значень кислотності в діапазоні 10–14 град. і піднімальної сили, не вищою за 25 хв. (що видно з табл. 1, 2), ці закваски далі не розглядаються. З цієї ж причини аналіз технологічних параметрів за температури 40 °C також був недоцільним. За даної температури відбувається прискорення процесу кислотонакопичення, але показник піднімальної сили за кулькою виходить за загальноприйнятий параметр.

За даними, наведеними у табл. 1–3, можна побудувати матрицю технологічних параметрів, за якими варто провести математичне моделювання. Моделювання дозволяє побудувати функції впливу концентрації лактулози та АТФ лонг та часу технологічного циклу процесу ферментації борошняної складової, піднімальну силу за кулькою та титровану кислотність закваски. Це дасть можливість знайти уточнену кількість поліпшувачів, які необхідно додати до закваски (лактоза та АТФ лонг), щоб час технологічного циклу буде мінімальним, і при цьому значення кислотності (оптимальний інтервал 10–14 град.) і піднімальної сили за кулькою (не більше 25 хв.) знаходяться в межах припустимого діапазону.

На рис. 2. наведено вплив вмісту АТФ у заквасці на час технологічного циклу її розведення відносно показників кислотності та піднімальної сили за кулькою. Рис. 2, 3 представлені для закваски із додаванням препарату АТФ лонг.

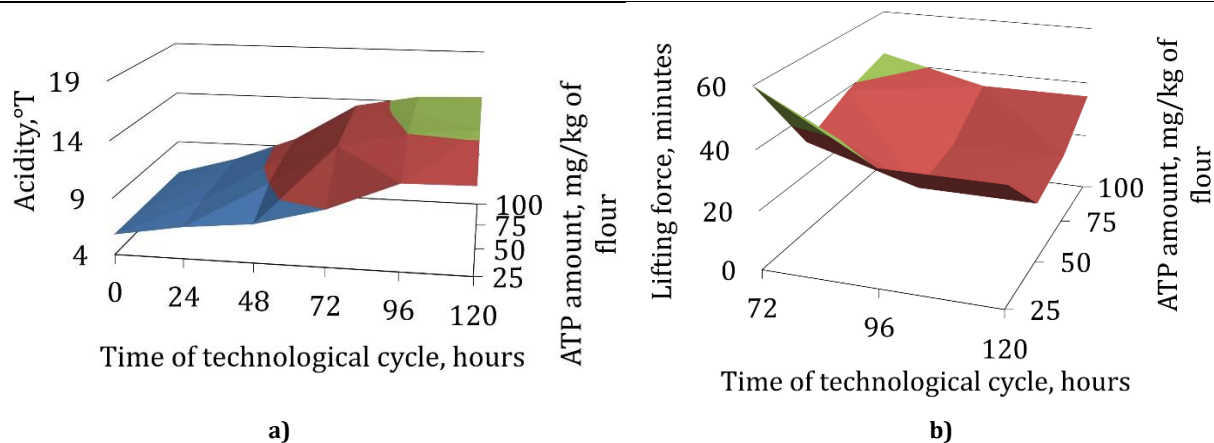


Рис. 2. Вплив вмісту АТФ лонг на час технологічного циклу ферментації закваски відносно показників а - титрована кислотність (град. Тернера) та б - піднімальна сила за кулькою (хв)  
 Fig. 2. Dependency between sourdough parameters, time of technological cycle and ATP amount: a - acidity in Turner degrees, b - lifting force in minutes.

Для проведення оптимізації за експериментальними значеннями таблиць 1–3 було відтворено неперервні функції за допомогою формул:

$$f(x) = (1-t(x))z_1 + t(x)z_2 + t(x)(1-t(x))(1-t(x)a + t(x)b), \quad (1)$$

$$t(x) = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, \quad (2)$$

$$a = k_1(x_2 - x_1) - (z_2 - z_1), \quad (3)$$

$$b = -k_2(x_2 - x_1) + (z_2 - z_1), \quad (4)$$

$$k_1 = q'(x_1), \quad (5)$$

$$k_2 = q'(x_2). \quad (6)$$

Приклад результату відтворення наведено на рисунку 3. Для наочності продемонстровано результат для дослідного зразку закваски із додаванням оптимальної кількості АТФ лонг, експериментальні дані для якого були показані на рис. 2.

За результатами математичного моделювання із використанням сплайнів знайдені оптимальні значення додаткових компонентів (лактоза та АТФ лонг), які рекомендовано вводити до складу закваски задля інтенсифікації бродильних процесів, при яких час технологічного циклу її розведення є мінімальним (табл. 4).

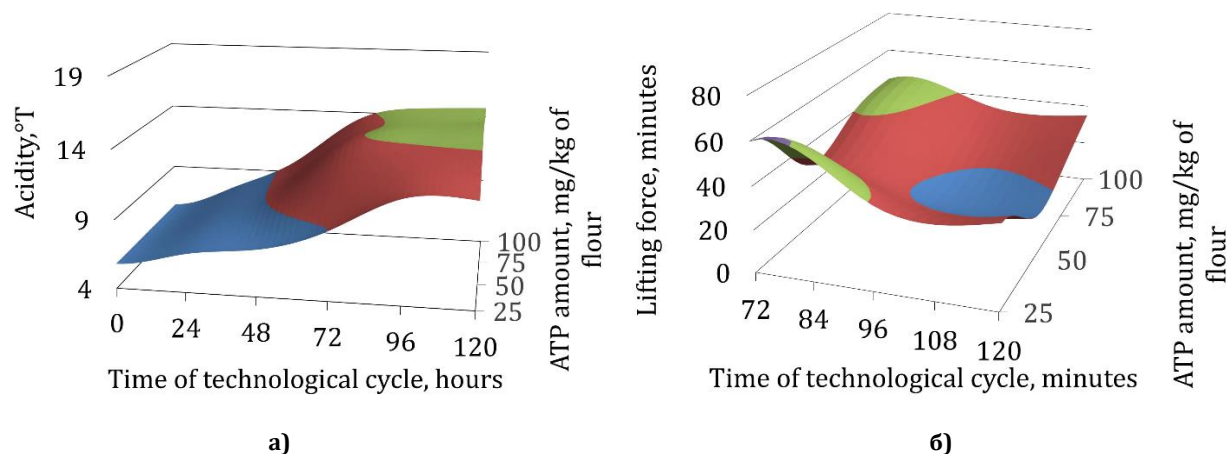


Рис. 3. Відтворені сплайн-функції залежності кислотності та піднімальної сили закваски від часу технологічного циклу і вмісту АТФ: а - кислотність, град. Тернера, б - піднімальна сила, хв.

Fig. 3. Estimated spline functions of dependency between sourdough parameters, time of technological cycle and ATP amount: a - acidity in Turner degrees, b - lifting force in minutes.

## Optimal parameters of technological process with minimized time of technological cycle

Табл. 4

## Оптимальний вміст лактулози та АТФ лонг для забезпечення мінімального часу технологічного циклу розведення закваски

Показники	Закваска +АТФ лонг	Закваска+ лактулоза
Кількість компонентів (лактuloза, %, АТФ мг/кг борошна)	46,7	4,34
Кислотність, град.	13,2	13,56
Піднімальна сила, хв.	25	25
Тривалість технологічного процесу виведення закваски, год., хв.	68 год, 50 хв	76 год.

Варто відмітити, що технологічний цикл для закваски з додаванням АТФ лонг є коротшим, ніж за умови використання лактулози.

За результатами органолептичної оцінки попередньо створених зразків функціонального хліба (хліб було виготовлено опарним методом) на основі запропонованих заквасок, найкращими визнані зразки з додаванням лактулози у кількості 4.34 % відповідно до маси внесеного борошна та аденозинтрифосфату (АТФ лонг) у кількості 46.7 мг/кг (рис. 4). Додавання лактулози сприяє утворенню більш вираженого кольору скоринки, яка утворюється внаслідок присутності незаброджених цукрів (незаброджена лактулоза має виражені пребіотичні властивості в організмі людини, температура її руйнування 193 °C).

Процес утворення скоринки виникає внаслідок реакції Майара (неферментативного глікозилювання) між лактулозою та амінокислотами (переважно лізин, метіонін,

валін, треонін). Цей процес протікає за температури вищою 140 °C. Відмічено пряму пропорційну залежність вмісту продуктів реакції Майара від кількості внесеної лактулози. Так, найбільш інтенсивним процес утворення меланоїдинів виявлено за умови додавання лактулози у кількості 4.34 мг/кг борошна. Утворені металоїди сприяють стійкості готових продуктів відносно окиснювального прогоркання, яке може відбуватися під час їх довготривалого зберігання.

Під час контролю процесу ферментації борошняної складової закваски із додаванням лактулози у кількості 4.34 мг/кг борошна відмічено покращення газоутворювальної здатності тіста, що призвело до збільшення поруватості (на 11.6 %) готових виробів порівняно із контролем. Це пояснюється активацією бродильної мікрофлори закваски та тіста внаслідок інтенсивного виділення вуглекислого газу в процесі гідролізу лактулози.



а)

б)

Рис. 4. Зразки функціонального хліба на заквасках з додаванням аденозинтрифосфату 46,7 мг/кг (а) та лактулози 4,34 % (б)

Fig.4. The result of trial baking of sourdough bread with the addition of adenosine triphosphate 46,7 mg / kg (a) and lactulose 4,34 % (b)

Показники якості зразків функціонального хліба, виготовленого на заквасці із додаванням АТФ та лактулози повністю

відповідають стандартам ДСТУ – П-4588-2006 «Вироби хлібобулочні для спеціального дієтичного споживання», ДСТУ – П-4583: 2006



«Хліб із житнього та суміші житнього і пшеничного борошна» і становлять: пористість 56 та 53 %, удільний об'єм 2.1 та 2.0 см<sup>3</sup>/г, стислість м'якуша – 23 та 26 одиниці приладу пенетрометра [30], титрована кислотність 5.3 та 5.5 град. Зразки функціонального хліба із додаванням АТФ лонг та лактулози мають покращені органолептичні показники за формою, зовнішнім виглядом, поверхнею, кольором, станом м'якушки, смаком (більш виражений) та запахом (ароматніший). Під час визначення фізико-механічних властивостей м'якушки зразків функціонального хліба – стислості м'якуша (на пенетрометрі) вдалося встановити, що при додаванні лактулози у кількості 4.34 мг/кг борошна відбувається уповільнення процесу черствіння хліба протягом терміну зберігання (72 години) у порівнянні зі зразками із додаванням АТФ та контролем (для контрольного зразку цей показник становить 19 одиниць приладу пенетрометра). Завдяки визначенню цього показника можливо оцінити ступінь черствіння хліба, яке відбувається внаслідок змін гідрофільних властивостей колоїдів м'якішу при зберіганні готових виробів. Завдяки введенню лактулози підвищується вологоутримувальна здатність тіста, внаслідок чого, відбувається збільшення вологості м'якуша печеного хліба на 1.5 % у порівнянні із контролем та зразками із додаванням АТФ, що в свою чергу призводить до збільшення припіку на 2 % та уповільненню черствіння хліба. У результаті проведених пробних випічок хліба встановлено, що на ступінь його черствіння впливають наступні фактори: сировина (якість, вид борошна), поліпшувачі (АТФ лонг та лактулоза), спосіб виготовлення (опарний або безопарний), умови зберігання (упаковка, температура), контроль та регулювання технологічних параметрів протягом процесу.

### Висновки

У результаті дослідження розроблено математичну модель сплайн-інтерполяції процесу отримання закваски. За допомогою моделі з матриці технологічних параметрів залежності піднімальної сили і кислотності від вмісту лактулози та нуклеотиду аденозинтрифосфату у заквасці, а також часу технологічного циклу отримано неперервні функції технологічних параметрів. На отриманих функціях виконана процедура оптимізації часу технологічного циклу за

рахунок варіювання вмісту лактулози і нуклеотиду аденозинтрифосфату.

Отримані результати досліджень дозволили обґрунтувати технологічні параметри процесу отримання закваски для функціонального хліба з підвищеним титром молочнокислих бактерій на основі низькоглютенної ферментованої суміші. За додавання лактулози у кількості 4.34 мг/кг борошна титр біфідобактерій дорівнює  $1.5 \cdot 10^{12}$  КУО/мл, лактобактерій –  $0.9 \cdot 10^{12}$  КУО/мл. За додавання АТФ лонг у кількості 46.7 мг/кг борошна титр біфідобактерій становить  $0.9 \cdot 10^{12}$  КУО/мл та лактобактерій –  $0.15 \cdot 10^{11}$  КУО/мл.

Внаслідок ферментованого гідролізу соєвого борошна відбувається утворення високомолекулярних фракцій білка, який разом із крохмалем, котрий міститься у спельтовому борошні, пластифікує тісто. Даний технологічний фактор виключає необхідність у додаванні коригуючих засобів хімічного походження задля покращення реологічних властивостей тіста.

На основі досліджень встановлена недоцільність застосування прискореного способу отримання концентрованої молочнокислої закваски за температури культивування близько 40 °С. Даний температурний режим ферментації призводить до розрідження закваски, зростання титрованої кислотності більше ніж на 14 град. та піднімальної сили за кулькою більше 25 хв.

З аналізу якісних характеристик зразків заквасок встановлено, що найкращим додатковим субстратом, який сприяє направленому культивуванню молочнокислих бактерій, є олігосахарид лактулоза. Додавання лактулози призводить до скорочення часу розстойки тіста на 35 %, тому що підвищується окисно-відновлювальний потенціал та зростає титр живих клітин молочнокислих бактерій. Лактулоза має підвищену вологоутримуючу здатність і тим самим сприяє процесу прогрівання тіста на етапі розстойки і, як наслідок, час випікання скорочується на 15 хв. від контрольного зразку та на 12 хв. відносно зразку із додаванням АТФ лонг. У процесі випікання хліба відбуваються зміни ферментативної активності тіста, інтенсифікується процес клейстеризації крохмалю та відбувається теплова денатурація білка, змінюється вологість як у запропонованій технології, так і у класичній. Але за новою технологією (з

додаванням лактулози у кількості 4.34 мг/кг борошна) підвищується вологоутримувальна здатність тіста, внаслідок чого відбувається збільшення вологості м'якуша готового виробу на 1.5 %, що в свою чергу призводить до збільшення припіку на 2 % та уповільнення черствіння хліба. Життєдіяльність молочнокислих бактерій на початку випікання активізується, збільшується вміст спирту та органічних кислот, що сприяє покращенню смакових властивостей хліба. Внаслідок клейстеризації крохмалю відбувається поглинання води з утворенням білкового каркасу, в який вкраплені зерна крохмалю. Такий процес сприяє кращій засвоюваності організмом людини білків та вуглеводів внаслідок ферментації борошняної складової. Відмічено пряму пропорційну залежність вмісту продуктів реакції Майара (утворення ароматичних та забарвлених сполук) від кількості внесеної лактулози. Так, найбільш інтенсивним процес утворення меланоїдинів відмічено при додаванні лактулози кількістю 4.34 мг/кг борошна. Утворені металоїдини сприяють набуттю кремового кольору м'якуша хліба та утворенню хрусткої скоринки.

У результаті катаболічних процесів біохімічних перетворювань (гомо- та гетероферментативне зброджування) – виділяється невелика кількість енергії, внаслідок чого уповільнюється процес гідролізу борошняної складової закваски, і як наслідок, збільшується тривалість технологічного процесу, що зумовлює доцільність використання додаткового джерела енергії у вигляді нуклеотиду аденозинтрифосфату в практиці виведення закваски для хлібопекарських потреб.

Вперше доведено ефективність використання аденозинтрифосфату у складі закваски. Кількість його внесення – 46.7 мг/кг – у практиці виведення закваски для функціонального хліба дозволяє скорити тривалість процесу ферментації борошняної складової на 43 % у порівнянні із контрольним зразком. Завдяки введенню аденозинтрифосфату вдалося покращити технологічні показники якості закваски, які повністю відповідають встановленим вимогам, а саме – піднімальна сила за кулькою становить 25 хв., титрована кислотність – 13.2 градуси.

За рахунок введення лактулози та аденозинтрифосфату до складу закваски

відбувається укріплення клейковини, інтенсивність бродіння зростає, час розстойки тістових заготовок зменшується на 20 % – при додаванні лактулози, на 35 % – при додаванні АТФ. Завдяки введенню даних компонентів вдалося збільшення питомий об'єм хліба на 10–12 %, покращити структуру м'якуша завдяки утворенню білково-вуглеводних комплексів, що забезпечує рівномірний розподіл крохмальних зерен в даній матриці.

Впровадження запропонованої технології отримання закваски для функціонального хліба дозволить нарощувати виробництво традиційних, збагачених есенціальними мікронутрієнтами харчових продуктів. Запропонований функціональний хліб насичений продуктами ферментації молочнокислих бактерій, які наділені потужним біосинтезом антиоксидантних речовин: ферментів – каталази та оксидоредуктази; амінокислот (метіоніну та цистеїну), органічних кислот, вітамінів (ніацину, РР, С, К). Пробиотичні штами мають доведену антиоксидантну та антимуутагенну активність, що дає можливість їх розглядати як найбільш перспективний засіб у боротьбі із вільними радикалами.

## Bibliography

- [1] Визначення ефективності спонтанних заквасок для стабілізації якості хлібних виробів на підприємствах хлібного і ресторанного бізнесу / Т.Є. Лебеденко, В.О. Кожевнікова, О.М. Котузаки, Т.П. Новічкова // EUREKA: Life Sciences. – 2019. – № 4. – С. 32–35.
- [2] Features of determining the quality of ethnic sourdoughs and ways of using them in baking and catering business / T. Lebedenko, V. Kozhevnikova, T. Novichkova, O. Kotuzaki // EUREKA: Life Sciences. – 2019. – N. 4. P. 36–44.
- [3] Роль альгінат-кальцієвого гелю як захисного компонента штаму *Bifidobacterium Lactis BB 12* від агресивних чинників травного тракту / Є. П. Пивоваров, С. К. Воцелко, Н. В. Кондратюк [та ін.] // Мікробіологічний журнал. – 2014. – Т. 76, № 2. – С. 35–40.
- [4] Williams R.L. Diet quality scores of australian adults who have completed the healthy eating quiz / R.L. Williams, M.E. Rollo, T. Schumacher // *Nutrients*. – 2017. – Vol. 9, N 8. – P. 31–42.
- [5] Weight status perception and weight loss intention among urban youth / R. Dey, R. Clark, N. Ackermann, [et al.] // *Obesity Research & Clinical Practice*. – 2019. – Vol. 13, N. 4. – P. 21–29.
- [6] A systematic review of UK-based long-term nonsurgical interventions for people with severe obesity (BMI  $\geq 35 \text{ kgm}^{-2}$ ) / M. Aceves, C. Martins, D. Robertson, [et al.] // *J. Hum. Nutr. Diet*. – 2020. – Vol. 33, N 3. – P. 351–372.
- [7] Luc De Vuyst Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities / Luc De Vuyst, Henning HarthSimon, Van Kerrebroeck



- Frédéric Leroy // International Journal of Food Microbiology. – 2016. – Vol. 239, N. 19. – P. 26–34.
- [8] Characterization of relative abundance of lactic acid bacteria species in French organic sourdough by cultural, qPCR and MiSeq high-throughput sequencing methods / E. Michel, C. Monfort, M. Deffrasnes, [et al.] // International Journal of Food Microbiology. – 2016. – Vol. 239. – P. 35–43.
- [9] Douillard F.P. Functional genomics of lactic acid bacteria: from food to health / F.P. Douillard, W.M. de Vos // Microb Cell Fact. – 2014. – Vol. 13, N. 1. – P. 13–21.
- [10] Gänzle M. Composition and function of sourdough microbiota: From ecological theory to bread quality / M. Gänzle, V. Ripari // International Journal of Food Microbiology. – 2016. – Vol. 239, N. 19. – P. 29–25.
- [11] Bread Dough and Baker's Yeast: An Uplifting Synergy / N. Struyf, E. der Maelen, S. Hemidan [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2019. – Vol. 16, N. 5. – P.850–868.
- [12] Chemical and nutritional properties of white bread leavened by lactic acid bacteria / M. Bottani, M. Brasca, A. Ferraretto [et al.] // Journal of Functional Foods. – Vol. 45. – P. 330–338.
- [13] Лебеденко Т.Є. Відродження старовинних технологій приготування хліба на винних дріжджах / Т.Є. Лебеденко, Т.П. Новічкова, Н.Ю. Соколова // Харчова наука і технологія. – 2012. – №1. – С. 86–90.
- [14] Mardar, M. (2019). Microbiota of Instant Cereals and Its Change During Storage. *Food Science and Technology*. – 2019. – Vol. 13, N. 1. – P. 114–121.
- [15] Development of a method for the direct fermentation of semolina by selected sourdough lactic acid bacteria / A. Alfonzo, V. Urso, O. Corona, [et al.] // International Journal of Food Microbiology. – 2016. – Vol. 239. – N. 19. – P. 65–78.
- [16] Drivers for the establishment and composition of the sourdough lactic acid bacteria biota. International Journal of Food Microbiology / M. Gobetti, F. Minervini, E. Pontonio, [et al.] // International Journal of Food Microbiology. – 2016. – Vol. 239. – N. 19. – P. 3–18.
- [17] Impact of different *S. cerevisiae* yeast strains on gluten-free dough and bread quality parameters / S. W. Hortsmann, J. J. Atzler, M. Heitmann, [et al.] // Eur Food Res Technol. – 2019. – Vol 245. – P. 213–223.
- [18] Ivanišová E., The effect of fibre from various origins on the properties of dough and bakery products / E. Ivanisova, M. Tokar, T. Bojňanská // Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. – 2015. – 5 (1). – P. 73–80.
- [19] Cellular level set in B-splines (CLIBS): A method for modeling and topology optimization of cellular structures / M. Y. Wang, H. Zong, Q. Ma [et al.] // Computer Methods in Appl. Mechan. Engin. – 2019. – P. 378–404.
- [20] NURBS-based microstructure design for organic photovoltaics / R. Noruzi, S. Ghadai, O.R. Bingol [et al.] // Computer Aided Design. – 2019. – P. 118.
- [21] Deniz C.U. A new mathematical approach to the bleaching process of edible oils / C.U. Deniz, I. Bilici, M. Tuncer // J. Chem. Technol. and Biotechnol. – 2020. – Vol. 34. – N. 8. – P. 44–51.
- [22] Role of the charge, carbon chain length, and content of surfactant on the skin penetration of meloxicam-loaded liposomes. Intern / S. Duangjit, B. Pamornpathomkul, T. Rojanarata [et al.] // Intern. J. of Nanomedicine. – 2014. – Vol. 9. – N. 1. – P. 15–24.
- [23] Gradient design for liquid chromatography using multi-scale optimization / S. López-Ureña, J.R. Torres-Lapasió, R. Donat, [et al.] // J. of Chromatography. – 2018. – Vol. 1534. – P. 32–42.
- [24] Kafash B. Using B-spline functions (BSFs) of various degrees to obtain a powerful method for numerical solution for a special class of optimal control problems (OCPs) / B. Kafash, S.R. Alavizadeh // Int. J. Numer. Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields. – 2020. – Vol. 33. – N. 2. – P. 41–46.
- [25] Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва / В.І. Дробот. – К.: Логос, 2002. – 365 с.
- [26] Афанасьєва О.В. Мікробіологія хлібопекарного виробництва / О.В.Афанасьєва. – Спб.: Береста, 2003. – 220 с.
- [27] Дорохович А.Н. Сахарозаменители нового поколения низкой калорийности и гликемичности / А.Н. Дорохович // Продукты & ингредиенты. – 2011. – №6 (8). – С. 46–48.
- [28] Особливості зміни рівнів коротколанцюгових жирних кислот у калі, харкотинні та слизовій оболонці бронхів хворих на хронічне обструктивне захворювання легень із синдромом подразненого кишечнику / С.В. Коваленко, А.Є. Дорофєєв, М.Д. Ардатська // Оригінальні дослідження. – 2012. – Т. XI, № 3-4 (42). – С.71–76.
- [29] Фармацевтична хімія: підручник/ під заг. ред. Безуглого П.О. – Вінниця: Нова Книга, 2008.– 560 с.
- [30] Ауерман Л.Я. Технологія хлібопекарного виробництва / Л. Я. Ауерман Под общ. ред. Л.И. Пучковой, Спб:Профессия, 2005. – 416с.
- [31] Актуальні проблеми індивідуального здоров'я підлітків та застосування сучасних біотехнологій виробництва функціональних продуктів харчування з метою їх вирішення: колективна монографія / Н.О.Непошивайленко, І.М. Корнієнко. – Люблін: Люблінський Університет природничих наук, 2020. – С. 391-409.

## References

- [1] Lebedenko, T. Ye., Kozhevnikova, V.O., Kotuzaky, O.M., Novichkova, T. P. (2019). [Vyznachennia efektyvnosti spontannykh zakvasok dlia stabilizatsii yakosti khlibnykh vyrobiv na pidpriemstvakh khlibnoho i restorannoho biznesu], *EUREKA: Life Sciences*, (4), 32–35 (in Ukrainian).
- [2] Lebedenko, T. Ye., Kozhevnikova, V.O., Kotuzaky, O.M., Novichkova, T. P. (2019). Features of determining the quality of ethnic sourdoughs and ways of using them in baking and catering business. *EUREKA: Life Sciences*, (4), 36–44.
- [3] Williams, R. L., Rollo, M. E., Schumacher, T., & Collins, C. E. (2017). Diet quality scores of Australian adults who have completed the healthy eating quiz. *Nutrients*, 9(8), 21-29. (in Ukrainian).  
<https://doi.org/10.3390/nu9080880>
- [4] Rahul Dey B. Ruth Clark, Nicole Ackermann, Susan B.Racetteb. (2019). Weight status perception and weight loss intention among urban youth. *Obesity Research & Clinical Practice*, 13(4), 391-394.  
<https://doi.org/10.1016/j.orcp.2019.04.004>.
- [5] Martins, M., Robertson, C., Cooper, D., Avenell, A., Stewart, F., Aveyard, P., Bruin, M. (2020). A systematic review of UK based long term nonsurgical interventions for people with severe obesity (BMI  $\geq 35\text{kgm}^{-2}$ ). *J. Hum. Nutr. Diet.* 33(3), 351–372.

- <https://doi.org/10.1111/jhn.12732>
- [6] Whatnall, M. C., Patterson, A. J., Burrows, T. L., & Hutchesson, M. J. (2019). Higher diet quality in university students is associated with higher academic achievement: a cross-sectional study. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 32(3), 321–328. <https://doi.org/10.1111/jhn.12632>
- [7] Vuyst, L., Simon, H., Kerrebroeck, V., Leroy, F. (2016). Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities. *International Journal of Food Microbiology*, 239(19), 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.018>
- [8] Michel, E., Monfort, C., Deffrasnes, M., Guezene, S., Lhomm, E., Barret, M., Sicard, D., Dousset, X., Onno, B. (2016). Characterization of relative abundance of lactic acid bacteria species in French organic sourdough by cultural, qPCR and MiSeq high-throughput sequencing methods. *International Journal of Food Microbiology*, 239(19), 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.034>
- [9] Douillard, F.P., de Vos, W.M. Functional genomics of lactic acid bacteria: from food to health. (2014). *Microb. Cell. Fact.*, 13(1), 13–21. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-S1-S8.2014>
- [10] Michael Gänzle, Valery Ripari. (2016). Composition and function of sourdough microbiota: From ecological theory to bread quality. *International Journal of Food Microbiology*, 239(19), 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.004>
- [11] Struyf, N, Maelen E.der, Hemidan, S. (2019) Bread Dough and Baker's Yeast: An Uplifting Synergy. / *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 850–868. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12282>
- [12] Bottani, M., Brasca, M., Ferraretto, A., Cardone, G., Casiraghi, M., Lombardi, G. Cattaneo, S., Silveti. T. (2018). Chemical and nutritional properties of white bread leavened by lactic acid bacteria. *Journal of Functional Foods*, 45, 330–338. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.04.030>
- [13] Lebedenko, T. Ie., Novichkova, T.P., Sokolova, N. Iu. (2012). [Vidrodzhennia starovynnykh tekhnolohii pryhotuvannia khliba na vynykh drizhdzhakh]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia*, 1, 86–90. (in Ukrainian).
- [14] Mardar, M. (2019). Microbiota of Instant Cereals and Its Change During Storage. *Food Science and Technology*, 13 (1), 114–121. <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v13i1.1336>
- [15] Antonio Alfonso, Valeria Urso, Onofrio Corona, Nicola Francesca, Gaetano Amato, Luca Settanni, Giuseppe Di Miceli. (2016). Development of a method for the direct fermentation of semolina by selected sourdough lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 239 (19), 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.027>
- [16] Marco Gobetti, Fabio Minervini, Erica Pontonio, Raffaella Di Cagno, Maria De Angelis. (2016). Drivers for the establishment and composition of the sourdough lactic acid bacteria biota. *International Journal of Food Microbiology*, 239 (19) 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.022>
- [17] Horstmann, S.W., Atzler, J.J., Heitmann, M. (2019). Impact of different *S. cerevisiae* yeast strains on gluten-free dough and bread quality parameters. *Eur Food Res Technol*, 245, 213–223. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3154-9>
- [18] Ivanišová, E., Tokar, M., Bojňanská, M. (2015). The effect of fibre from various origins on the properties of dough and bakery products. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 5(1), 73–80. <http://dx.doi.org/10.15414/jmbfs.2015.5.1.73-80>
- [19] Michael Yu Wang, Hongming Zong, Qingping Ma, Ye Tian & Mingdong Zhou. (2019). Cellular level set in B-splines (CLIBS): A method for modeling and topology optimization of cellular structures. *Computer Methods in Appl. Mechan. Engin*, 378–404. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2019.02.026>
- [20] Noruzi, R., Ghadai, S., Bingol, O.R., Krishnamurthy. (2019). NURBS-based microstructure design for organic photovoltaics. *Computer Aided Design*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2019.102771>
- [21] Deniz, C.U., Bilici, İ. & Tuncer, M. (2020) A new mathematical approach to the bleaching process of edible oils. *J. Chem. Technol. and Biotechnol*, 34(8), 44–51. <https://doi.org/10.1002/jctb.6425>
- [22] Duangjit, S., Pamornpathomkul, B., Opanasopit, P., Rojanarata, T., Obata, Y., Takayama K. & Ngawhirunpat T. (2014). Role of the charge, carbon chain length, and content of surfactant on the skin penetration of meloxicam-loaded liposomes. *Intern. J. of Nanomedicine*, 9(1), 15–24. <https://doi.org/10.2147/IJN.S606747>
- [23] López-Ureñaa, S., Torres-Lapasíó, J.R., Donat, R., García-Alvarez-Coque, M.C. (2018). Gradient design for liquid chromatography using multi-scale optimization. *J. of Chromatography*, 1534, 32–42.
- [24] Kafash, B., Alavizadeh S.R. (2020) Using B-spline functions (BSFs) of various degrees to obtain a powerful method for numerical solution for a special class of optimal control problems (OCs). *Int. J. Numer. Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 33(2), 41–46. <http://doi.org/10.1002/inm.2687>
- [25] Drobot, V.I. (2002). [Tekhnolohiia khlibopekarskoho vyrobnytstva]. Kijv: Lohos. (in Ukrainian).
- [26] Afanas'eva, O. V. (2003). [Mikrobiologiya hlebopekarnogo proizvodstva]. St. Petersburg: Beresta. (in Russian).
- [27] Dorohovich, A.N. (2011). [Saharozameniteli novogo pokoleniya nizkoj kalorijnosti i glikemichnosti] // *Produkty & ingredient*, 6 (8), C. 46–48. (in Russian).
- [28] Kovaleuko, S. V., Dorofiev, A.E., Ardatska, M.D. (2012). [Osoblyvosti zminy rivniv korotkolantsiuhovykh zhyrnykh kyslot u kali, kharkotyanni ta slyzovii obolontsi bronkhiv khvorykh na khronichne obstruktyvne zakhvoriuvannia lehen iz syndromom podraznenoho kyshechnyku] // *Oryhinalni doslidzhennia*, XI(3–4), C.71–76. (in Ukrainian).
- [29] Farmatsevychna khimiia: pidruchnyk/ pid zah. red.. Bezuhloho P.O. (2008). Vinnytsia: Nova Knyga. (in Ukrainian).
- [30] Auermann, L.YA. (2005) [Tekhnologiya hlebopekarskogo proizvodstva], St-Peterburg: Professiya (in Russian)
- [31] Neposhyvaylenko, N. O., Kornienko, I.M. (2020) [Collective Monograph: - Current problems of individual health of adolescents and the use of modern food biotechnology to solve them]. Lublin, Polska: Universiti of life sciences in Lublin (in English) <http://doi.org/10.30525/978-9934-588-45-7.211>