

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет харчових технологій та управління якістю продукції АПК

УДК 664.665:633.521+633.35

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету харчових технологій
та управління якістю продукції АПК

_____ Лариса БАЛЬ-ПРИЛИПКО

ГОЛЕМБОВСЬКА

« ____ » _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри технологій
м'ясних, рибних та морепродуктів

_____ Наталія

« ____ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Ефективність використання насіння льону та пророщеного
насіння сочевиці як у технології безглютенового хліба»

Спеціальність 181 «Харчові технології»

Освітня програма «Нутріціологія»

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент

_____ Людмила ТИЩЕНКО

Керівник магістерської роботи

д.т.н., професор

_____ Оксана НАУМЕНКО

Виконав

_____ Сергій БУРЛАЙ

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет харчових технологій та управління якістю продукції АПК

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри технологій
м'ясних, рибних та морепродуктів

_____ Наталія ГОЛЕМБОВСЬКА

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТА**

Сергію Станіславовичу Бурлаю

Спеціальність 181 «Харчові технології»

Освітня програма «Нутриціологія»

Програма підготовки Освітньо-наукова

Тема магістерської роботи **«Ефективність використання насіння льону та пророщеного насіння сочевиці як у технології безглютенового хліба»**

Затверджена наказом ректора НУБіП України від “17” січня 2024 р. № 52 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 10. 06. 2025 р.

Вихідні дані до магістерської роботи; технологія безглютенового хліба, екстракт макухи з льону, хімічний склад сировини.

Перелік питань, що підлягають дослідженню: огляд літературних джерел; організація, об'єкти, предмети і методи досліджень; результати дослідження та їх аналіз; висновки; список використаної літератури.

Дата видачі завдання “14” квітня 2024 р.

Керівник магістерської роботи

д.т.н., професор _____

Оксана НАУМЕНКО

Завдання прийняв до виконання _____

Сергій БУРЛАЙ

РЕФЕРАТ

Магістерська робота виконана згідно завдання: «Ефективність використання насіння льону та пророщеного насіння сочевиці як у технології безглютенового хліба»

Метою магістерської роботи є обґрунтувати та дослідити ефективність використання насіння льону та пророщеного насіння сочевиці в технології виробництва безглютенового хліба з метою підвищення його харчової цінності, поліпшення органолептичних показників і функціональних властивостей.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні *завдання*:

1. Проаналізувати наукову літературу щодо використання насіння льону та пророщених бобових у хлібопеченні.

2. Дослідити хімічний склад насіння льону та пророщеного насіння сочевиці.

3. Розробити рецептури безглютенового хліба з додаванням досліджуваних інгредієнтів.

4. Провести оцінку впливу насіння льону та пророщеного насіння сочевиці на органолептичні, фізико-хімічні та структурно-механічні властивості хліба.

5. Визначити оптимальні норми внесення досліджуваних компонентів до рецептури.

6. Надати рекомендації щодо впровадження інгредієнтів у технологію безглютенового хліба.

7. Провести техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження продукції у виробництво.

Об'єкт дослідження: технологічний процес виробництва безглютенового хліба.

Предмет дослідження: Вплив насіння льону та пророщеного насіння сочевиці на якість та харчову цінність безглютенового хліба.

Методи дослідження: фізико-хімічні, мікробіологічні, органолептичні.

Дипломна робота складається із вступу, огляду літератури, матеріалу та методики досліджень, результатів власних досліджень, аналізу і узагальнення, висновків та списку використаної літератури.

Магістерська робота виконана на 55 сторінках, містить 10 таблиць та 3 рисунки. Список літератури складає 67 джерел.

Ключові слова: безглютеновий хліб, насіння льону, пророщена сочевиця, хлібопечення, функціональні інгредієнти, харчова цінність, рецептура, органолептичні властивості, безглютенова технологія, техніко-економічне обґрунтування.

ЗМІСТ

	Стор
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1 Аналіз ринку виробництва безглютенових хлібобулочних виробів	8
1.2.Обґрунтування використання насіння льону та пророщених бобових у хлібопеченні.....	9
1.3. Використання побічного продукту льону (макухи) у хлібопекарській справі.....	10
1.4. Джерела йоду в продуктах харчування.....	14
1.5. Вміст йоду в харчових добавках.....	17
1.6 Хімічний склад і властивості морських водоростей (ламінарії)	25
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	15
2.1 Етапи та послідовність виконання роботи.....	15
2.2 Методи досліджень.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
3.1 Розроблення технології безглютенового хліба. Дослідження хімічного складу та енергетичної цінності дослідних зразків	26
3.2 Сенсорна оцінка безглютенового хліба з екстрактом лляної макухи та пророщеної сочевиці.....	36
3.3 Дослідження терміну зберігання розроблених продуктів.....	39
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРОДУКТУ	43
4.1. Техніко-економічне обґрунтування виробництва безглютенового хліба	43
ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48

ВСТУП

Колись невеликий ринок безглютенових продуктів харчування зазнав прискореного зростання в останні роки та став тенденцією в харчовому секторі. Це зростання відбулося головним чином через повсюдне захоплення безглютеновими продуктами, яке змусило споживачів уникати глютену, оскільки вони вважають, що безглютенові продукти є «здоровішим» варіантом, а безглютенова дієта — ефективним способом схуднути, хоча наукових доказів на підтвердження цих переконань немає (Brouns et al., 2013, Pszczola, 2012). Для людей з хворобою Крона, герпетиформним дерматитом, глютенною атаксією, алергією на пшеницю та чутливістю до глютену сегмент ринку безглютенових продуктів харчування є важливим для сприяння дотриманню суворої безглютенової дієти (Sarone et al., 2012). Незважаючи на зростання ринку безглютенових продуктів, люди з хворобою Крона все ще мають проблеми з пошуком безглютенових продуктів через високі ціни, обмежений асортимент та доступність, а також погані сенсорні властивості. Ці фактори є причиною перешкоджання дотриманню безглютенової дієти та загального невдоволення (do Nascimento et al., 2014).

Незважаючи на значний прогрес, досягнутий у розумінні та вдосконаленні систем безглютенових продуктів шляхом оцінки різних інгредієнтів, добавок та технологій протягом останніх двох десятиліть, розробка безглютенових продуктів залишається технологічною проблемою через роль глютену в різних продуктах на основі зерна. Технологічна проблема зростає відповідно до залежності властивостей продуктів від глютену, яка є значною у виробництві хліба та макаронних виробів (Capriles et al., 2015). Хліб є найбільш вивченим серед усіх безглютенових продуктів. Однак, безглютеновий хліб з хорошими сенсорними властивостями залишається найбажанішим продуктом для людей з хворобою Крона (do Nascimento et al., 2014).

Ряд рецептур безглютенового хліба (GFB) був розроблений з використанням рисового та кукурудзяного борошна, які часто поєднують з

кукурудзяним, картопляним або касовим крохмалем як базове борошно, оскільки вони є широкодоступними, недорогими інгредієнтами, що мають прісний смак та аромат. Однак це борошно та крохмалі мають мінімальний потенціал для утворення структури, тому їх часто використовують разом з білками та гідролоїдними зв'язуючими агентами, а також з іншими добавками для покращення фізичних властивостей, сприйняття та терміну придатності GFB (Capriles and Arêas, 2014). Це борошно та крохмалі без глютену зазвичай не збагачуються або не збагачуються, як і отримані продукти без глютену, так само, як їхні аналоги на основі пшениці. Тому продукти без глютену можуть призвести до дефіциту мікроелементів, білка та молочної залози (do Nascimento et al., 2013, Kinsey et al., 2008, Thompson, 2000). Таким чином, підвищення харчової якості продуктів без глютену залишається важливим завданням для досліджень та розробок, що є супутнім викликом для покращення технологічних та сенсорних властивостей.

Розробка GFB (глютенової крупи) все ще залишається складним завданням, оскільки жодна окрема сировина, інгредієнт чи добавка наразі не можуть повністю замінити глютен. Тим не менш, у цій галузі досягнуто значних успіхів у дослідженнях. У кількох нещодавніх дослідженнях використовувалися інструменти харчової науки для покращення технологічних та сенсорних якостей GFB, а також харчової цінності (Capriles and Arêas, 2014).

Основна увага в цій роботі приділялася обговоренню сучасних підходів, що використовуються для покращення харчових та біоактивних сполук, з особливою увагою на сировину та інгредієнти, що покращують харчові властивості безглютенового хліба, особливо ті, що сприймаються органолептично.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Аналіз ринку виробництва безглютенових хлібобулочних виробів

У зв'язку зі зростанням поширеності глютенкової ентеропатії (целіакії), глютенкової чутливості без целіакії, а також популярністю здорового харчування, ринок безглютенових продуктів, зокрема хлібобулочних виробів, демонструє стабільне зростання у всьому світі.

Світові тенденції

Згідно з даними аналітичних агентств, глобальний ринок безглютенових продуктів у 2024 році сягнув обсягу понад 10 мільярдів доларів США з прогнозованим зростанням на 9–10% щороку. Сегмент безглютенового хліба становить значну частку цього ринку.

Основні споживачі — США, країни ЄС (Німеччина, Франція, Італія), Велика Британія, Канада, а також ринки, що розвиваються — Бразилія, Індія, Китай. Найбільш активними споживачами безглютенової продукції є:

- люди з медичними показаннями (целіакія, непереносимість глютену),
- послідовники здорового способу життя,
- вегани/вегетаріанці,
- фітнес-спільнота.

В Україні ринок безглютенових хлібобулочних виробів ще перебуває на стадії активного формування, але має великий потенціал. Зростає поінформованість населення про глютенкову чутливість, і відповідно — попит на безглютенову продукцію. Основними драйверами попиту є:

- збільшення числа діагностованих випадків целіакії;
- розвиток сегменту здорового харчування;
- поява локальних виробників та продукції у торговельних мережах (наприклад, "Еко-Лавка", "Здорово", "Добродія").

Пропозиція безглютенового хліба представлена переважно імпортною продукцією або спеціалізованими нішевими виробниками. Великим пекарням складніше адаптуватися через складність технологічного процесу, відсутність глютену, потребу в окремих виробничих лініях для запобігання контамінації.

Основні проблеми галузі:

- Висока собівартість безглютенової продукції через використання специфічних інгредієнтів.
- Обмежена доступність якісної сировини.
- Недостатній рівень знань споживачів та виробників щодо якості та технології.
- Обмежений термін зберігання без використання стабілізаторів.

Перспективи розвитку:

1. Розширення асортименту за рахунок нових інгредієнтів – зокрема, бобових, насіння, пророщених зерен.
2. Акцент на функціональну цінність продукції (джерело білка, клітковини, омега-3).
3. Розвиток власного виробництва та локальних брендів.
4. Вдосконалення технологій для покращення органолептичних властивостей без додавання глютену.
5. Розвиток інтернет-комерції та доставки спеціалізованої продукції.

1.2. Обґрунтування використання насіння льону та пророщених бобових у хлібопеченні

На сучасному етапі розвитку харчової промисловості особлива увага приділяється створенню продуктів функціонального призначення, зокрема безглютенової хлібобулочної продукції. У зв'язку з поширенням глютенкової непереносимості (целиакії), актуальним є пошук натуральних інгредієнтів, які не лише замінюють глютен, але й збагачують продукт біологічно активними речовинами.

Насіння льону активно вивчається як функціональний інгредієнт у хлібопекарстві завдяки високому вмісту розчинних харчових волокон, поліненасичених жирних кислот (особливо омега-3), білків, лігнанів, антиоксидантів і мінералів. Додавання лляного насіння сприяє покращенню структури тіста, підвищенню вологоутримувальної здатності, подовженню термінів зберігання хліба та підвищенню його харчової цінності. Водночас дослідники зауважують, що надмірна кількість лляного борошна чи подрібненого насіння може негативно вплинути на об'ємну форму хліба через відсутність глютенів каркасу.

Пророщені бобові культури, зокрема сочевиця, є джерелом легкозасвоюваного білка, амінокислот, вітамінів групи В, антиоксидантів та ферментів, які активізуються в процесі пророщування. Пророщена сочевиця має вищу біологічну цінність порівняно з непророщеною, а також містить меншу кількість антипоживних речовин (фітинової кислоти, інгібіторів трипсину). Введення пророщених бобових у рецептуру безглютенового хліба дозволяє поліпшити амінокислотний склад продукту, збагатити його вітамінами, антиоксидантами та забезпечити кращу текстуру завдяки активним ферментам.

Згідно з науковими публікаціями, поєднання насіння льону та пророщених бобових у рецептурі хліба є перспективним напрямом, що дозволяє створювати продукти з покращеними органолептичними властивостями, високою харчовою та біологічною цінністю без використання глютену. Такі інгредієнти також відповідають сучасним запитам споживачів щодо здорового харчування.

1.3. Використання побічного продукту льону (макухи) у хлібопекарській справі

Харчова промисловість, включаючи олійну промисловість, генерує велику кількість харчових відходів та побічних продуктів, які в багатьох випадках не повністю використовуються, що створює серйозну екологічну

проблему [1]. Необхідність перетворення побічних продуктів харчової промисловості на корисні інгредієнти є частиною циркулярної економіки та концепції нульових відходів [2]. Після переробки агропромислові відходи можуть бути використані в харчовій, косметичній, текстильній та фармацевтичній промисловості. Більше того, деякі з цих відходів та побічних продуктів можна вважати джерелом біологічно активних сполук, таких як фенольні сполуки, вітаміни, пігменти, олії та різні біополімери, такі як полісахариди (включаючи харчові волокна) та білки [3]. Жми, отримані в результаті екстракції олійних культур, є цікавими побічними продуктами завдяки своїй харчовій цінності, високому вмісту біополімерів (білків та полісахаридів) та наявності біоактивних фітохімічних речовин, таких як фенольні кислоти, флавоноїди, лігнани та інші антиоксидантні сполуки [4 , 5 , 6]. Використання макухи олійних культур може бути стійкою альтернативою для зменшення кількості відходів, а також сприяє розробці нових, недорогих продуктів, багатих на поживні речовини [1 , 7]. Фактично, про використання різних макух олійних культур як потенційного джерела доданої вартості в традиційних харчових продуктах вже повідомлялося [8 , 9]. Крім того, слід підкреслити, що ці побічні продукти мають покращену харчову цінність (підвищений вміст білка, клітковини, макро- та мікроелементів, поліфенолів та вищу антиоксидантну здатність), а також функціональні властивості безглютенних продуктів [10].

Насіння льону (*Linum usitatissimum* L.) стало цінним поживним та функціональним продуктом харчування завдяки значній кількості високоякісних білків та мінералів, а також надзвичайно високому вмісту α -ліноленової кислоти, омега-3 жирних кислот, лігнанів та харчових волокон [11 , 12 , 13]. Численні дослідження повідомляли про виробництво високоякісних злакових продуктів, збагачених насінням льону, з бажаними корисними для здоров'я властивостями, що демонструють аналогічний або покращений термін придатності порівняно з еквівалентними продуктами [12]. Наприклад, Каур та ін. проаналізували вплив заміни пшеничного

борошна борошном з насіння льону на харчові, функціональні та антиоксидантні властивості печива та повідомили, що печиво, виготовлене з композитних борошняних сумішей, мало вищий вміст білка, жиру, золи та клітковини, ніж контрольні продукти [14]. Крім того, печиво, збагачене насінням льону, показало вищий загальний вміст поліфенолів, антиоксидантну активність, а також дуже прийнятні сенсорні показники. Аналогічно, Хуріє та Арамуні оцінили вплив додавання лляного борошна на фізичні та сенсорні характеристики злакових батончиків і вказали, що додавання лляного борошна суттєво покращило харчові якості злакових батончиків, не впливаючи на їх сенсорні та якісні властивості [15]. Після холодного гвинтового пресування олії отримують лляний макуху (ЛМА) [7]. Цей цінний і дешевий побічний продукт недостатньо використовується з точки зору харчової науки та харчових систем людини [16]. Повідомляється лише про кілька прикладів застосування ЛМА для виробництва звичайних продуктів харчування. Наприклад, Санмартін та ін. оцінили ЛМА як інструмент для покращення нутрицевтичних та сенсорних властивостей хліба на заквасці [3]. Їхні результати показали, що хліб на заквасці, збагачений лляним макухою, може бути потенційним носієм біоактивних сполук з можливістю отримання високоякісних продуктів з покращеним харчовим профілем та бажаними властивостями для здоров'я. Аналогічно, Тальєрі та ін. повідомили, що хліб, збагачений ЛМА, показав значне покращення нутрицевтичного профілю та високу антиоксидантну активність [7]. Таким чином, можна припустити, що ФОС має високий потенціал для використання як цінна добавка в інших харчових продуктах.

Хлібобулочні вироби, включаючи хліб, є одними з найпоширеніших основних продуктів харчування, які охоче споживаються щодня у всьому світі [17]. Однак деякі споживачі не можуть вживати звичайні пшеничні або пшенично-житні продукти через розлади, пов'язані з пшеницею/глютенем [18], або спосіб життя, обираючи безглютенові (БГ) аналоги. Таким чином, попит на високоякісні БГ продукти постійно зростає, а їхній ринок став одним

з найприбутковіших сегментів харчової промисловості [19]. Багато комерційно доступних безглютенових хлібів (БГХ) мають деякі недоліки, такі як незадовільна текстура, низька харчова цінність та короткий термін зберігання [20]. Крім того, вони дорогі та важкодоступні. Характерною особливістю БГХ є їхня нездатність розвивати складну тривимірну мережу через брак глютенів білків (брак гліадину та глютеніну) [21]. Таким чином, для створення мережі, подібної до тієї, що утворюється глютенем, та імітації її в'язкопружних властивостей (а отже, зовнішнього вигляду, якості та сенсорних властивостей хлібоподібних виробів), включення інших полімерних покращувачів є критичним фактором [22]. Крім того, добавки повинні збільшувати здатність зв'язувати воду на рівні тіста/тіста, що призводить до збільшення об'єму буханця хліба [23]. Борошно та/або крохмалі різного походження (такі як рис, кукурудза, картопля та кассава), які зазвичай включаються до складу GFB, мають низьку здатність до утворення структури та часто поєднуються зі зв'язуючими агентами, такими як білки та гідроколоїди [24].

У цьому контексті все більша увага приділяється побічним продуктам та супутнім продуктам, отриманим з насіння льону [3 , 12 , 13]. ФОС не містить глютену; тому його можна використовувати як альтернативну сировину в безглютенових продуктах, збагачуючи їх значною кількістю білків та мінералів [25]. Екстракт лляної макухи (ЕЛМ) – це рідка матриця з унікальними властивостями завдяки одночасному вмісту лляного білка (FP) та лляної камеді (FG), яка також багата на антиоксиданти [26]. У попередніх роботах було продемонстровано, що сильна синергетична здатність FG та FP до утримання води та зв'язування олії робить екстракт лляної макухи дуже перспективним інгредієнтом для стабілізації харчових систем завдяки його високій емульгуючій [16 , 26 , 27] та інкапсулюючій здатності [28 , 29]. ФГ функціонально більше нагадує арабську або гуарову камедь, ніж інші поширені камеді, і її можна використовувати для заміни більшості нежелюючих камедей для харчових та нехарчових застосувань завдяки її

«слабкій гелеподібній» властивості та чудовій вологоутримуючій здатності [26]. Білки насіння льону також досліджуються на предмет їх емульгувальних властивостей [30]. ФП та ФГ також відповідають за формування багатоформної структури та покращену стійкість до впливу навколишнього середовища, завдяки чому екстракт лляної макухи відповідає вимогам як до білків, так і до гідролоїдів у контексті покращення GFB. Таким чином, виходячи з технологічних та харчових особливостей екстракт лляної макухи , вона потенційно може бути застосована як замітник глютену у хлібопеченні без глютену.

Наскільки нам відомо, жодних досліджень безглютенового хліба, збагаченого екстрактом лляної макухи , не проводилося. Ми висунули гіпотезу, що рівень добавок може змінити ступінь впливу на властивості БХ. Таким чином, метою представленого дослідження було вперше створити БХ, збагачені екстрактом лляної макухи , та вивчити вплив рівня заміщення води на їхню харчову цінність, антиоксидантні властивості та сенсорні характеристики.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Етапи та послідовність виконання роботи

Приготування екстракту лляної макухи (ЕЛМ)

Екстракт лляної макухи готували відповідно до раніше розробленої процедури, описаної в попередньому дослідженні [26]. Коротко кажучи, ФОС (ACS Sp. z oo, Бидгощ, Польща) екстрагували гарячою дистильованою водою (1:10 мас ./ мас. , 90 °С, 1 год, 250 об/хв), потім охолоджували до 20 °С та центрифугували (4000 об/хв, 30 хв) для отримання екстракту лляної макухи. Згодом екстракт лляної макухи фільтрували та гомогенізували (12 000 об/хв, SilentCrusherM, Heidolph, Німеччина).

Приготування експериментального безглютенового хліба

Як контрольний варіант було використано раніше розроблену рецептуру безглютенового хліба (БХ) [31]. Основними інгредієнтами БХ були кукурудзяний крохмаль (NORTIMEX, Конін, Польща), картопляний крохмаль (PPZ “Trzemeszno” Sp. Z oo, Тшемешно, Польща), цукор, свіжі дріжджі (Lesaffre Polska SA, Волчин, Польща), пектин (E 440(i), ZPOW Pektowin, Ясло, Польща), ріпакова олія “Kujawski” (ZT “Kruszwica” SA, Крушвіца, Польща), сіль та вода (табл. 2.1). Екстракт лляної макухи (ЕЛМ) було включено до експериментальних БХ у вигляді рідини, яка замінювала від 25 до 100% (об./об.) води в контрольному варіанті БХ.

Таблиця 2.1

Склад експериментального безглютенового хліба

Інгредієнт (%)	Контроль	ЕЛМ 25%	ЕЛМ 50%	ЕЛМ 75%	ЕЛМ 100%
Кукурудзяний крохмаль	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7
Картопляний крохмаль	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9

Інгредієнт (%)	Контроль	ЕЛМ 25%	ЕЛМ 50%	ЕЛМ 75%	ЕЛМ 100%
Пектин	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Цукор	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Сіль	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Олія	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Свіжі дріжджі	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
ФОКЕ ¹	-	11.1	22.2	33.3	44,4
Вода	44,4	33.3	22.2	11.1	-

Усі тверді інгредієнти (кукурудзяний крохмаль, картопляний крохмаль, пектин) змішували (5 хв) на мінімальній швидкості за допомогою лабораторного планетарного міксера (міксер KitchenAid Professional K45SS; KitchenAid Europa, Inc., Брюссель, Бельгія) у чаші з нержавіючої сталі з плоским вінчиком. Решту інгредієнтів (сіль, цукор та дріжджі) розчиняли окремо у воді та додавали до сухої суміші разом з олією. Потім тісто перемішували протягом 12 хв на швидкості 2. Зразок отриманого тіста вагою 240 г поміщали у шестикутну форму для випікання хліба (10 см × 10 см × 9 см, довжина, ширина та висота відповідно), накривали пергаментним папером та вистоювали 40 хв у шафі для розстою (35 °С, вологість 70%). Експериментальні безглютенові хлібці випікали (220 °С, 30 хв) у лабораторній печі (ZBPP, Бидгощ, Польща). Отримані буханці хліба охолоджували протягом 2 годин за кімнатної температури, а потім упаковували в поліетиленові пакети із застібкою та зберігали в темряві за кімнатної температури для подальшого аналізу. Були проаналізовані продукти двох незалежних партій.

2.2. Методи досліджень

Визначення якості хліба

Експериментальні БГК оцінювали через 24 години після випікання, оскільки це дозволяло краще диференціювати їх. Було проаналізовано три буханці кожного виду БГК. Вагу БГК оцінювали за допомогою цифрових ваг з точністю 0,01 г. Об'єм буханця визначали за допомогою модифікованого стандартного методу витіснення ріпакового насіння, в якому замість ріпаку використовували просо.

Питомий об'єм (ПО) розраховували як об'єм буханця, поділений на його вагу. Густина (D) розраховували як вагу буханця, поділену на його об'єм. Втрати при випіканні розраховували, як зазначено в рівнянні (1):

$$\text{Втрати при випіканні (\%)} = \frac{(a - b) \times 100}{a} \quad (1)$$

де:

a — вага тіста (г),

b — маса випечених та охолоджених ГФБ (г).

Співвідношення висоти/ширини GFВ визначали на їх середньому зрізі. Сканування зразка центрального зрізу кожного експериментального GF було отримано за допомогою планшетного сканера (Epson Perfection V200 Photo) з підтримкою програмного забезпечення Epson Creativity Suite Software Images.

Оцінювання пористості панірувальної крихти

Пористість крихти та розподіл повітряних комірок досліджували за допомогою аналізу зображень відповідно до процедури, описаної Аранібаром та ін. [9]. Для отримання зображень, де GFВ були розрізані поперечно, використовувався фотосканер (Epson GT-1500, Epson Europe BV Sp. z oo Варшава, Польща). Зображення у форматі JPEG аналізували за допомогою програмного забезпечення для аналізу зображень Image-J. Для всіх крихт вручну вибирали репрезентативну область однакового розміру. Кольорове зображення перетворювали на 8-бітне зображення та аналізували у відтінках сірого. Сегментацію зображення (перетворення на бінарне зображення)

виконувала програма шляхом автоматичного вибору порогового значення. В результаті аналізу зображення були отримані такі параметри: кількість комірок ($\text{№}/\text{см}^2$), середня площа комірок (мм^2), середній периметр комірок (мм) та округлість комірок (1 = максимальна округлість, 0 = без округлості).

Інструментальне визначення кольору панірувальних сухарів

Колір крихти GFВ аналізували в середній точці центрального 2-сантиметрового зрізу за допомогою приладу HunterLab ColorFlex (Hunter Associates Laboratory, Inc., Рестон, Вірджинія, США). Вимірювання проводили через діафрагму діаметром 3 см, що містила оптичне скло. Колір виражали відповідно до системи CIELab, а визначали такі параметри: яскравість ($L^* = 0$ [чорний] та $L^* = 100$ [білий]) та хроматичні компоненти: a^* ($-a^*$ = зелений та $+a^*$ = червоний) та b^* ($-b^*$ = блакитний та $+b^*$ = жовтий). Різницю ΔE_{Lab} між двома кольорами [49] розраховували за рівнянням (2):

$$\Delta E_{\text{Lab}} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

де: $\Delta L^* = L1 - L0$; $\Delta a^* = a1 - a0$; $\Delta b^* = b1 - b0$.

Значення кольору м'якушки були середніми значеннями щонайменше шести повторень.

Визначення хімічного складу та енергетичної цінності

Вологість визначали у свіжих БГК, тоді як вміст білків, жирів та загальної золи визначали у ліофілізованих експериментальних БГК згідно зі стандартним методом [61]. Загальний вміст вуглеводів розраховували шляхом віднімання значень вмісту вологи, білків, жирів та золи від 100. Енергетичну цінність (кДж) розраховували шляхом множення кількості макронутрієнтів на відповідні коефіцієнти перетворення (17 кДж/г для білків, 37 кДж/г для жирів та 17 кДж/г для вуглеводів) [28]. Коефіцієнти перетворення для розрахунку калорій становлять: 1 кДж = 0,239 ккал [62].

Визначення концентрації мінералів

Концентрацію вибраних мінералів у FOCE та GFВ аналізували методом атомно-абсорбційної спектрометрії (AAS) з використанням полум'яного

(повітряно-ацетиленовий пальник) атомно-абсорбційного спектрофотометра (iCE 3000 Series, Thermo Fisher Scientific Inc., Лафборо, Велика Британія). Перед аналізом зразки піддавали волого-розкладному розкладанню сумішшю (9:1; об. / об.) концентрованої азотної кислоти (65% HNO₃; Merck, Дармштадт, Німеччина) та хлоридної кислоти (30% HCl; Merck) за допомогою мікрохвильової системи (Multiwave, Anton Paar GmbH, Грац, Австрія). Для аналітичного контролю якості аналізу повторювали тричі.

Антиоксидантна здатність ЕМЛ та БХ

3.4.1. Підготовка зразків та екстракція антиоксидантів

Цілі експериментальні GFB та FOCE піддали процесу ліофілізації. Для отримання екстрактів приблизно 200 мг зразків GFB або 100 мг FOCE зважували в мікроцентрифужні пробірки та екстрагували 1 мл 80% водного розчину метанолу. Кожен етап п'ятикратної екстракції складався з 30-секундної обробки ультразвуком (VC 750, Sonics & Materials, Inc., Ньютаун, Коннектикут, США) та подальшого 30-секундного перемішування та центрифугування при 13 200× g протягом 10 хвилин при 4 °C (центрифуга 5415R, Еппендорф, Німеччина). Отримані супернатанти збирали в мірну колбу об'ємом 5 мл. Після цього етапу до решти гранул додавали 1 мл розчинника, і екстракцію продовжували до п'яти разів.

Загальний вміст фенолів (ЗВФ)

ТПК визначали згідно з методом, описаним раніше [31], з реактивом Фоліна-Чокальтеу, щойно розведеним водою у співвідношенні 1:15 (об. / об.). Аналіз ТПК проводили в мікропланшетах, і аліквоти по 15 мкл метанольних екстрактів поміщали в лунки мікропланшета. Згодом додавали 250 мкл розчину Фоліна-Чокальтеу та суміш інкубували в темряві протягом 10 хвилин при кімнатній температурі. Потім до кожної лунки додавали 25 мкл 20% карбонату натрію та суміш інкубували протягом 20 хвилин. Мікропланшет автоматично струшували перед зчитуванням, і вимірювали поглинання при $\lambda = 755$ нм (планшетний рідер Infinite M1000 PRO; Tecan Group AG, Меннедорф, Швейцарія). Галову кислоту використовували для

стандартного калібрування (0,03–1,0 мг/л), а результати виражали в мг еквівалентів галової кислоти (GAE) на один грам сухої речовини (г/DM) GFB або FOCE.

Визначення еквівалентної антиоксидантної ємності тролоксу (TEAC) проводили, як описано Хорсвальдом та Андлауером [**63**]. Катіон-радикал 2,2'-азино-біс(3-етилбензотіазолін)-6-сульфоною кислотою (ABTS^{·+}) готували шляхом реакції 7 мМ водного розчину ABTS з 51,4 мМ персульфатом калію та витримування суміші в темряві при кімнатній температурі протягом 12–17 годин перед використанням. Робочий розчин катіон-радикалу готували безпосередньо перед аналізом, розбавляючи маточний розчин 80% (об. / об.) метанолом для отримання значення поглинання $0,7 \pm 0,02$ при $\lambda = 734$ нм. Для аналізу 10 мкл зразків (метанольні екстракти GFB та FOCE, приготовані, як описано в пункті 2.3.1), холостого зразка (80% об. / об. метанолу) або стандарту поміщали в лунки мікропланшета. Згодом до кожної лунки додали 290 мкл робочого розчину ABTS^{·+}, планшет помістили в планшетний рідер Infinite M1000 PRO (Tecan Group AG, Меннедорф, Швейцарія), обережно струшували протягом 5 секунд і залишали при 30 °C у темряві на 6 хвилин, після чого виміряли абсорбцію при $\lambda = 734$ нм. Ефект поглинання ABTS^{·+} (% інгібування) розраховували за рівнянням (3)

$$\% \text{ інгібування} = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \quad (3)$$

де:

A₀ — значення поглинання холостого зразка,

A₁ — поглинання досліджуваних зразків.

Синтетичний аналог вітаміну Е, 6-гідрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбонова кислота (Тролокс), використовували як стандарт антиоксиданту в діапазоні концентрацій від 10 до 750 мкМ. Результати виражали в мкмоль Тролокса/г сухої речовини ГЛФ або ФОК.

Аналіз поглинання радикалів 2,2-дифеніл-2-пікрілгідразилу (DPPH) проводили згідно з Brand-Williams et al. [**64**]. Розчин 2,2-дифеніл-2-

пікрилгідразилу (DPPH·) готували щойно перед аналізом, розчиняючи 10 мг DPPH у 250 мл 80% (об./об.) метанолу. Отриманий розчин радикалів забезпечував значення поглинання в діапазоні від 0,95 до 1,10 при $\lambda = 517$ нм. Для аналізу 20 мкл метанольних екстрактів експериментальних GFB та FOCE (як описано в пункті 2.3.1), холостих проб або стандарту поміщали в 96-лункові мікротитровальні планшети, а потім додавали розчин DPPH· (300 мкл). Реакційні суміші в планшеті інкубували при кімнатній температурі протягом 30 хвилин у темряві. Потім поглинання реєстрували при $\lambda = 517$ нм за допомогою планшетного рідера Infinite M1000 PRO (TecanGroup AG, Меннедорф, Швейцарія). Для стандартного калібрування використовували тролокс (0,005–0,75 мМ). Значення були середніми значеннями триразових аналізів та виражені в мкмоль тролокс/г сухої речовини GFB або FOCE.

Аналіз антиоксидантного потенціалу відновлення заліза (FRAP) проводили відповідно до методу мікропланшетів, описаного Бензі та Стрейн [65]. Коротко кажучи, реагент FRAP готували безпосередньо перед аналізом шляхом змішування 5 мл 10 мМ 2,4,6-три(2-піридил)-s-триазину (TPTZ) у 40 мМ соляній кислоті з 5 мл 20 мМ розчину хлориду заліза (III) та з 50 мл 300 мМ ацетатного буфера (pH = 3,6). П'ятдесят мкл відповідно розведених екстрактів додавали безпосередньо до 96-лункового мікропланшета, а потім 300 мкл реагенту FRAP. Мікропланшет поміщали в планшетний рідер Infinite M1000 PRO (TecanGroup AG, Меннедорф, Швейцарія), обережно струшували протягом 5 секунд та залишали при кімнатній температурі в темряві на 5 хвилин, після чого вимірювали абсорбцію при $\lambda = 593$ нм. Тролокс використовували як стандарт антиоксиданту в діапазоні концентрацій від 10 до 100 мкМ, а результати виражали в мкмоль тролокс на 1 г сухої речовини зразків. Усі визначення проводили у трьох повторностях.

Аналіз фотохемілюмінесценції

Фотохемілюмінесцентний (PCL) аналіз було проведено, як описано Зелінським, Зелінською та Костирою [66]. Цей метод було використано для оцінки антиоксидантної активності експериментальних зразків проти

супероксидних аніон-радикалів, що утворюються з люмінолу (фотосенсибілізатора) під впливом УФ-світла в апараті Photochem (Analytik Jena, Лейпциг, Німеччина). Визначення PCL-ACW (гідрофільні умови) та PCL-ACL (ліпофільні умови) було проведено з використанням аналітичних наборів, запропонованих виробником (ACW 400.801 та ACL 400.802), та відповідно до протоколів застосування. Для PCL-ACW зразок масою 50 мг екстрагували 1 мл води, а для PCL-ACL зразок масою 50 мг екстрагували 1 мл суміші метанолу та гексану (4:1; об. / об.). Дослідження PCL-ACW проводили шляхом вимірювання протягом 180 секунд та автоматичного розрахунку часу затримки, коли хемілюмінесценція не генерувалася через наявність антиоксидантів в екстрактах. Різниця між часом затримки тестованого зразка та середнім значенням холостих проб була параметром активності поглинання радикалів, перетвореним на антиоксидантну здатність шляхом порівняння зі стандартною кривою Trolox у діапазоні 0,5–3 нмоль. В аналізі PCL-ACL хемілюмінесценція, що випромінюється люмінолом після збудження вільними радикалами, що залишаються у вимірювальній комірці після реакції з антиоксидантом, присутнім у тестованих зразках, реєструвалася протягом 180 секунд. Інтеграл під сигнальними кривими тестованого зразка та середнє значення холостих проб розраховувалися автоматично, а потім порівнювалися зі стандартною кривою Trolox (0,25–3 нмоль). Результати PCL-ACW та -ACL виражали в мкмоль Trolox/г сухої речовини. Загальну антиоксидантну здатність також розраховували шляхом додавання значень антиоксидантної активності PCL-ACW та PCL-ACL.

Сенсорна оцінка

Сенсорний аналіз проводила експертна група, що складалася з шести оцінювачів без целиакії (п'ять жінок та один чоловік), які були знайомі з безглютеновими продуктами. Вони пройшли навчання відповідно до рекомендацій ISO [67]. Сенсорні характеристики експериментальних GFB оцінювали через 24 години після випікання. Для оцінки сенсорної якості GFB було застосовано кількісний описовий аналіз (КОА) [68]. Перед аналізом

учасники групи визначали словники сенсорних атрибутів на круглому столі, використовуючи стандартизовану процедуру [69]. Було оцінено сімнадцять атрибутів (таблиця 2.2). Оцінювачі оцінювали інтенсивність, що сприймається для кожного сенсорного атрибута, за неструктурованими графічними шкалами. Шкали мали довжину 10 см та були закріплені вербально на кожному кінці, а результати перетворювалися на числові значення (від 0 до 10 довільних одиниць) за допомогою комп'ютера. Експериментальні зразки безглютенового хліба були закодовані тризначним числом та представлені оцінювачам разом у випадковому порядку у прозорих пластикових коробках. Сенсорну оцінку проводили в кімнаті сенсорної лабораторії, яка відповідає вимогам стандартів ISO [70], за нормальних умов освітлення та кімнатної температури. Для мінімізації залишкових ефектів рекомендували пити бутильовану мінеральну воду між кожною оцінкою зразків. Результати збирали за допомогою комп'ютеризованої системи ANALSENS (IAR&FR PAS, Ольштин, Польща). Блюда з високим вмістом жиру (GFB) тестували у двох повторностях.

Таблиця 2.2

Сенсорні атрибути, їх визначення та межі шкали, що використовуються в кількісному описовому аналізі (КДА).

Атрибут	Визначення	Масштабування країв
Зовнішній вигляд		
бежевий колір	інтенсивність кольору (кольоровий візерунок RAL 075 90 10)	Світло-темний
колокація пор	візуальне враження від розташування пористої крихти	нерегулярний–регулярний
розмір пор	візуальне враження від розміру пористої крихти	малий–великий
Запах		

Атрибут	Визначення	Масштабування країв
кислота	характеристика органічних кислот	немає – дуже інтенсивно
маслянистий	характеристика соняшникової олії	немає – дуже інтенсивно
пшеничний хліб	типовий для пшеничного хліба	немає – дуже інтенсивно
солодкий	характерні для солодких хлібобулочних виробів	немає – дуже інтенсивно
Текстура (вручну)		
еластичність	ступінь, до якої виріб повертається до своєї початкової довжини, коли його штовхають пальцем	малий–великий
Текстура (у роті)		
жувальність	багаторазове жування, що дозволяє ковтати	низький–високий
клейкість	ступінь адгезії, що сприймається під час 10-разового жування зразка	низький–високий
вологість	ступінь кількості води в продукті, що сприймається під час 10-разового жування зразка	низький–високий
Смак		
пшеничний хліб	як відповідний запах (вимірюється в роті)	немає – дуже інтенсивно
кислота	основний смак, що ілюструється лимонною кислотою, розчиненою у воді	немає – дуже інтенсивно
солодкий	основний смак, що ілюструється 3% розчиненою у воді сахарозою	немає – дуже інтенсивно

Атрибут	Визначення	Масштабування країв
солоний	основний смак, що ілюструється 3% розчином NaCl у воді	немає – дуже інтенсивно
післясмак	відчуття печії після ковтання зразка	немає – дуже інтенсивно
Загальна якість	загальна якість містить усі атрибути та їх гармонізацію	низький–високий

Статистичний аналіз

Якщо не зазначено інше, дані, наведені в таблицях, представлені у вигляді середніх значень та стандартних відхилень триразових спостережень. Різниці між експериментальними GFB були проаналізовані за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) з використанням критеріїв Стюденда.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Розроблення технології безглютенового хліба. Дослідження хімічного складу та енергетичної цінності дослідних зразків

Хімічний склад та енергетична цінність експериментальних безглютеновий хліб екстрактом лляної макухи, що замінюють воду в безглютеновій суміші, представлені в таблиці 1. Контрольний безглютеновий хліб, що складався переважно з крохмалистих інгредієнтів, характеризувався низькою харчовою цінністю, головним чином через низький вміст білків таблиці 3.1. Подібна характеристика була помічена і в інших експериментальних зразках, що склалися з основних інгредієнтів [31 , 32]. Однак слід підкреслити, що зниження поживної адекватності є тривожною тенденцією, яка спостерігається в комерційно доступних GFB по всьому світу [20]. Порівнюючи упаковані безглютенові продукти з їх звичайними глютенвмісними аналогами, можна зробити аналогічні висновки [33 , 34]. Ці недоліки негативно впливають на поживний статус та здоров'я пацієнтів, які дотримуються суворої безглютенової дієти, і тому представляють нагальну потребу в подальших зусиллях, спрямованих на покращення харчової якості безглютенового хліба.

Таблиця 3.1

Харчова та енергетична цінність безглютенового хліба з заміною води наекстракт лляної макухи .

Показник	Контроль	ЕЛМ 25%	ЕЛМ 50%	ЕЛМ 75%	ЕЛМ 100%
Вологість (%)	57,71 ± 1,08	62,04 ± 1,15	61,13 ± 1,32	60,91 ± 0,94	60,46 ± 1,82
Білки (г/100 г сухої речовини)	1,30 ± 0,01	1,52 ± 0,05	1,64 ± 0,07	1,84± 0,01	2,08 ± 0,01
Зола (г/100 г сухої речовини)	1,72 ± 0,08	1,72 ± 0,04	1,71 ± 0,01	1,68 ± 0,04	1,77 ± 0,03
Жир (г/100 г сухої речовини)	2,37 ± 0,06	2,49 ± 0,02	2,60 ± 0,05	2,79 ± 0,06	2,74 ± 0,03
Вуглеводи * (г/100 г сухої речовини)	36,90 ± 0,05	32,23 ± 0,06	32,96 ± 0,03	32,78 ± 0,05	32,90 ± 0,12

Енергетична цінність (кДж)	737	666	684	692	696
Енергетична цінність (ккал)	174	157	162	164	165

У представленому дослідженні було використано лабораторно вироблений екстракт лляної макухи, який являє собою екстракт побічного продукту після виробництва лляної олії, для покращення технічної якості та харчової цінності безглютенового хліба. Наше дослідження відповідає тенденції сталого розвитку харчових продуктів, яка зосереджена на застосуванні побічних продуктів харчової переробки як потенційного джерела додавання цінності до продуктів харчування, що призводить до створення нових продуктів з покращеною харчовою та нутрицевтичною цінністю [9 , 31]. Фактично, Taglieri та ін. повідомили про значне покращення нутрицевтичного профілю хліба, збагаченого лляною макухою, дозозалежним чином [7]. Заміна води на екстракт лляної макухи в експериментальній формулі БХ призвела до значного ($p < 0,05$) збільшення вмісту білка в отриманих продуктах (таблиця 3.1), зокрема, екстракт лляної макухи 100% був на 60% багатшим на білки, ніж контрольний. Крім того, у хлібах, збагачених найвищим відсотком екстракту лляної макухи (ЕЛМ 75% та екстракт лляної макухи 100%), було виявлено значне ($p < 0,05$) збільшення вмісту жиру; однак на практиці це збільшення було відносно невеликим і становило близько 0,4 г/100 г (таблиця 3.1). З іншого боку, вміст вуглеводів у зразках, що містили екстракт лляної макухи , був значно зменшений ($p < 0,05$).

Білки льону відомі своїм цінним амінокислотним складом. Вони є джерелом аргініну, аспарагінової кислоти, глютамінової кислоти [35], цистеїну та метіоніну, які, як було показано, покращують антиоксидантний статус; таким чином, можуть мати корисний вплив на здоров'я [36]. Зміни вмісту макронутрієнтів в експериментальних GFB, зокрема білків та жирів, були прямим результатом їх відносно високого вмісту екстракту лляної

макухи (14 мг/мл білка, 6,5 мг/мл вуглеводів та 9,5 мг/мл інших екстрагованих сполук) [27]. Це мало прямий вплив на енергетичну цінність отриманих хлібобулочних виробів (виражену в кДж та ккал), яка була нижчою порівняно з контролем.

Мінеральний склад екстракту лляної макухи та експериментальних GFB представлено на рисунку 1 та рисунку 2 відповідно. Як і очікувалося, екстракт лляної макухи був дуже багатим джерелом калію (K = 1843,34 мкг/г) та містив велику кількість фосфору (P = 88,387 мкг/г) та магнію (Mg = 52,86 мкг/г) (рисунок 3.1). Цинк (Zn) був домінуючим мікроелементом уекстракт лляної макухи , далі йшла мідь (Cu) та невелика кількість заліза (Fe) та марганцю (Mn) (рисунок 1). Якісний та кількісний мінеральний профіль, визначений уекстракт лляної макухи , відображає характеристики сировини, з якої він отриманий. Згідно з літературними даними, насіння льону має високий вміст калію (5600–9200 мг/кг) та є добрим джерелом фосфору (650 мг/100 г), магнію (350–431 мг/100 г) та кальцію (Ca = 236–250 мг/100 г); однак воно має низький вміст натрію (Na; 27 мг/100 г).

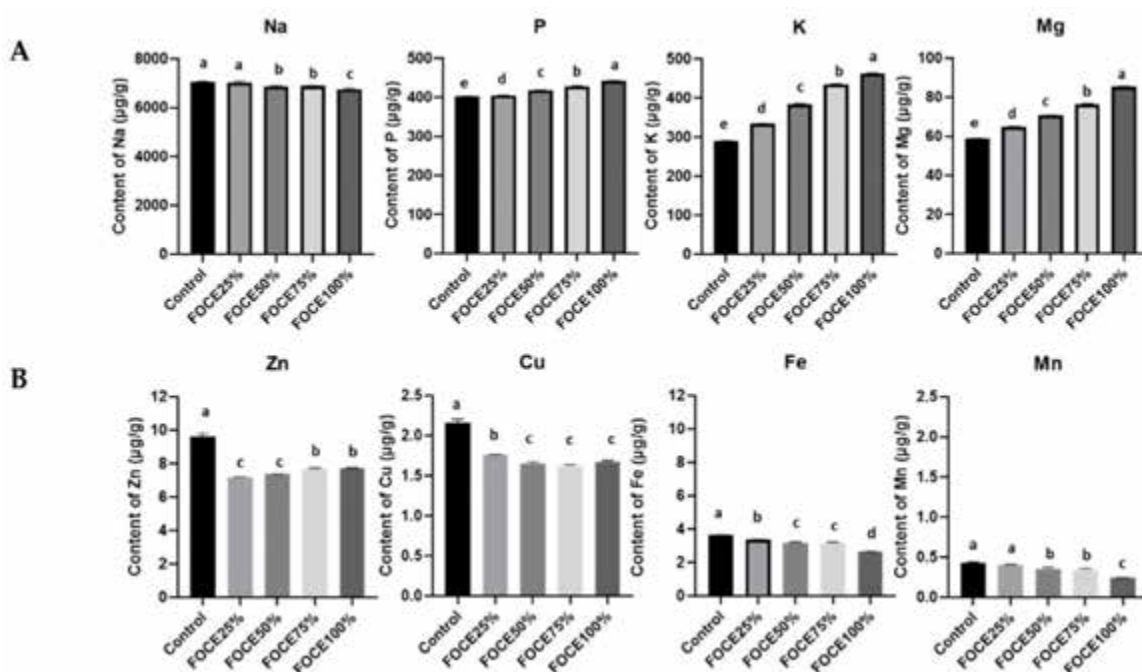


Рис. 3.1 Вміст мінералів в експериментальних безглютенових хлібах зекстракт лляної макухи : (А) макроелементи (мкг/г); (В) мікроелементи (мкг/г).

Використання екстракту лляної макухи як рідкого компонента безглютенової суміші призвело до значного збагачення К (глютенівих білків). Його кількість зростала зі збільшенням співвідношення екстракту лляної макухи до води, а в екстракт лляної макухи 100% вміст К був на 60% вищим, ніж у контролі (рисунк 3.1А). Високе споживання К пов'язане з покращенням серцево-судинних захворювань та обернено пропорційне агрегації тромбоцитів крові, вільним радикалам у крові та частоті інсульту [38]. Нещодавно Стоун та ін. [39] провели короткострокове клінічне дослідження, що оцінювало вплив підвищеного споживання К з різних джерел на артеріальний тиск та мікросудинні показники у чоловіків та жінок від прегіпертензивного до гіпертензивного стану (систоличний артеріальний тиск > 120 мм рт. ст.). Вони спостерігали більшу зміну систоличного артеріального тиску з часом у групі, яка дотримувалася дієти, багатой на калій (джерелом якої була печена/варена картопля), порівняно з контрольною групою (-6,0 мм рт. ст. проти -2,6 мм рт. ст.; $p = 0,011$) і дійшли висновку, що збільшення споживання калію може бути корисним для осіб з підвищеним ризиком кардіометаболічних захворювань. Експериментальні безглютенові хліба з екстрактом лляної макухи характеризувалися значно ($p < 0,05$) вищим вмістом Mg та P, ніж контрольний хліб (рис. 2 А). З іншого боку, вміст Na значно зменшувався зі збільшенням кількості екстракт лляної макухи в експериментальних зразках.

Як показав аналіз атомно-абсорбційної спектрометрії, екстракт лляної макухи не був у великій кількості в мікроелементах. Серед проаналізованих мікроелементів лише вміст Zn перевищував 1 мкг/г, тоді як вміст Cu, Fe та Mn був дуже низьким. З цієї причини експериментальні зразки з екстрактом лляної макухи характеризувалися значно ($p < 0,05$) меншою кількістю всіх мікроелементів порівняно з контрольним хлібом (рисю.3.1 В). Отже, можливо, що інші компоненти хлібної суміші та вода були основним джерелом мікроелементів у безглютеновому хлібі, а не сам екстракт лляної макухи .

Технологічні параметри та зовнішній вигляд експериментальних зразків представлені відповідно в таблиці 2.2. Питомий об'єм у порівнянні зі звичайним пшеничним хлібом, коливається від 3,5 до 5,5 см³/г [40 , 41], значення цього параметра, визначене в цьому дослідженні (2,39 см³/г), було значно нижчим. Використання екстракту лляної макухи в експериментальній формулі безглютенового хліба призвело до значного ($p < 0,05$) збільшення питомого об'єму та співвідношення висоти/ширини, тоді як щільність отриманих хлібів зменшилася (Таблиця 2). Ці зміни були особливо виразними у випадку екстракту лляної макухи 100%, питомий об'єм якого був майже на 30% вищим порівняно з контролем, тоді як його щільність зменшилася приблизно на 20%. Об'єм хліба, що відображає здатність тіста розширюватися без втрати утримання газу, впливає на його питомий об'єм, який є основним фактором, що визначає технологічну якість хліба. Дані, отримані в цьому дослідженні (таблиця 2.2), вказують на те, що збільшення відсотка розчинної клітковини (ВРК) в експериментальній формулі покращує якість отриманих дослідних зразків (біологічних білків). Корисний вплив екстракту лляної макухи на технологічні характеристики БХ може бути пов'язаний з хімічними характеристиками екстракту лляної макухи. Екстракт лляної макухи отримують з насіння льону, яке, окрім великого вмісту поживних речовин, містить харчові волокна, зокрема целюлозу, слизові камеді та лігнін [37 , 38]. З одного боку, було показано, що збагачення звичайного хліба матеріалом, багатим на поживні речовини та клітковину, через можливе розведення глютену, конкурентне зв'язування води [42] або фізичне порушення газових клітин та глютенної мережі [43] має негативний вплив на в'язкопружні властивості тіста та об'єм хліба. З іншого боку, розчинні волокна насіння льону позитивно впливають на структуру пшеничного тіста та об'єм буханця [44 , 45]. Високе значення питомого об'єму разом із належною аерацією м'якушки ЛХ, що є результатом відносно малих пор, рівномірно розподілених по всій м'якушці, необхідні для отримання продуктів задовільної сенсорної якості. Фактично, екстракт лляної макухи збільшив

кількість клітин у БХ. Крім того, порівняно з контрольним зразком, спостерігалось значне зменшення середньої площі та периметра клітин, але збільшення їхньої округлості у БХ, збагачених екстракт лляної макухи.

Отже, покращення технологічних параметрів експериментальних БХ може бути результатом функціональних інгредієнтів екстракт лляної макухи . Дрозловська та ін. повідомили, що екстракт лляної макухи має високий стабілізуючий потенціал завдяки різній водо- та оліозв'язуючій здатності камеді та білка льону та ефективному зниженню міжфазного натягу [26]. Це, ймовірно, сприяло створенню та захопленню вуглекислого газу в порах під час випікання. Більше того, оскільки рецептури БХ також містили олію, їхні покращені технологічні характеристики також можна, ймовірно, пов'язати з емульгуючою активністю ЕА, оскільки білки переважно адсорбуються на межах олія-вода та утворюють в'язкопружну плівку, яка забезпечує фізичну стабільність емульсіям під час їх подальшої обробки та зберігання [26 , 27].

Крім того, процес випікання відбувається за підвищених температур, під час яких може відбуватися часткова або повна термічна денатурація білків, залежно від рівня температури та часу витримки. Основним процесом, що викликає денатурацію, є вплив води на раніше непіддані гідрофільні молекули та сульфгідрильні групи. Ці групи відповідають за гідрофобні взаємодії з олійними фазами, тоді як гідрофільні залишки амінокислот, розташовані на поверхні, можуть поглинати воду. Завдяки цій структурі, яка є результатом контрольованої термічної обробки, ЕР може взаємодіяти як з олійною, так і з водною фазами та може діяти як ефективний емульгатор для стабілізації фазових інтерфейсів, подібно до деяких інших термомодифікованих білків [27]. Фактично, було показано, що денатурований екстракт лляної макухи має вищу здатність стабілізувати системи, що містять олію, ніж нативний [47].

Таблиця 3.2

Технологічні параметри якості безглютенового хліба із заміною води на екстракт лляної макухи

Показник	КОНТРОЛЬ	ЕЛМ 25%	ЕЛМ 50%	ЕЛМ 75%	ЕЛМ 100%
Питомий об'єм (см ³ /г)	2,39 ± 0,03	2,39 ± 0,04	2,78 ± 0,03	2,87 ± 0,01	3,06 ± 0,09
Втрати при випіканні (%)	12,23 ± 0,41	12,00 ± 0,15	12,17 ± 0,21	12,22 ± 0,10	11,75 ± 0,41
Щільність (г/мл)	0,42 ± 0,01	0,42 ± 0,01	0,35 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,33 ± 0,01
Співвідношення висоти/ширини	1,06 ± 0,03	1,06 ± 0,05	1,10 ± 0,06	1,12 ± 0,06	1,22 ± 0,05
Параметри комірок крихти					
Кількість клітин (шт./ см ²)	28 ± 4	41 ± 5	41 ± 3	44 ± 1	44 ± 5
Середня площа клітин (мм ²)	6,66 ± 1,61	3,55 ± 1,03	3,91 ± 0,37	4,00 ± 0,94	3,93 ± 1,33
Середній периметр комірки (мм)	27,61 ± 0,54	15,24 ± 2,34	17,04 ± 2,20	15,50 ± 1,14	13,07 ± 3,34
Кругоподібність клітин (-)	0,09 ± 0,01	0,20 ± 0,03	0,24 ± 0,05	0,20 ± 0,03	0,26 ± 0,07
Колір крихти					
<i>L</i> *	71,29 ± 1,76	71,10 ± 0,76	74,13 ± 0,68	73,67 ± 0,94	76,02 ± 0,91
*	1,46 ± 0,14	1,08 ± 0,15	1,13 ± 0,04	1,26 ± 0,09	1,31 ± 0,10
<i>b</i> *	16,95 ± 0,81	13,86 ± 0,94	17,17 ± 0,44	16,83 ± 1,17	18,35 ± 0,59
ΔE	Служив як контроль	3.12	2.86	2.39	4.93

Результати інструментального аналізу кольору, проведеного в контрольному хлібі та хлібі з екстракт лляної макухи, збагаченому екстракт лляної макухи, представлені в таблиці 2.2. Через дуже нерівну та неоднорідну поверхню скоринки експериментальних хлібів (рис. 3), аналізувався лише колір м'якушки. М'якушка контрольного хліба була світлою ($L^* = 71,29$) та кремово-бежевого кольору. Цей результат добре узгоджується з результатами нашого попереднього дослідження ($L^* = 71,58$). Хліб безглютеновий на основі крохмалю зазвичай має білуватий м'якуш та світлу скоринку, яка сприймається як бліда та неприваблива порівняно зі звичайним пшеничним

хлібом [48]. Згідно з інструментальним аналізом кольору, екстракт лляної макухи мав значний вплив на колір м'якушки експериментальних зразків. Як зазначено в таблиці 2.2, екстракт лляної макухи 100% показав найвищі значення як світлоти (L^*), так і синьо-жовтих компонентів (b^*) та червоно-зелених компонентів (a^*). Усі ці параметри збільшувалися залежно від концентрації екстракту лляної макухи у хлібній суміші. Це спостереження узгоджується з результатами Таваріні та ін. [36], які також повідомили, що додавання ФОС значно впливає на колір м'якушки хліба. Відтінок м'якушки залежить головним чином від інгредієнтів, що використовуються у рецептурі. Екстракт лляної макухи був злегка кремове-бежевою рідиною (дані не показані); тому видимі відмінності в кольорі м'якушки не було легко розрізнити людським оком. Однак, коли були розраховані метричні відстані між координатами (ΔE) [49], відтінок м'якушки контрольного хліба явно відрізнявся ($1 < \Delta E < 3$ або $\Delta E > 3$) від відтінку крихти БХ, збагаченої екстрактом лляної макухи.

Вміст загального фенольного вмісту (ЗФМ) та антиоксидантну силу були проаналізовані як у екстракт лляної макухи, так і в БХ з різним відсотковим вмістом екстракту лляної макухи, а отримані результати наведено в таблиці 3.4. Не дивно, що екстракт лляної макухи, завдяки методу виробництва, характеризувався відносно низьким вмістом ЗМФ (0,16 мг ГАЕ/г сухої речовини) порівняно з лляним макухою [7] та борошном з цільного лляного насіння [14]. Тим не менш, екстракт лляної макухи характеризувався антиоксидантною здатністю, що було підтверджено аналізами АВТС, DPPH та FRAP, але не за допомогою PCL-ACW. З іншого боку, екстракт лляної макухи показав активність PCL-ACL, яка пов'язана з ліпофільними антиоксидантами можливо, жиророзчинними вітамінами (А та Е). γ -токоферол є антиоксидантом, що забезпечує захист клітинних білків та жирів від окислення та пов'язаний зі зниженням ризику хвороби Альцгеймера [50].

Таблиця 3. 3

Загальний вміст фенолів (мг ГАЕ/г СУ) та антиоксидантна здатність (мкмоль ТЕ/г СУ) хліба з додаванням екстракту лляної макухи

Показник	ЕЛМ	Контроль	ЕЛМ 25%	ЕЛМ 50%	ЕЛМ 75%	ЕЛМ 100%
TPC (мг ГАЕ/г сухої речовини)	0,162 ± 0,011	0,096 ± 0,004	0,203 ± 0,029	0,222 ± 0,021	0,232 ± 0,009	0,234 ± 0,008
ABTS (мкмоль ТЕ/г сухої речовини)	1,321 ± 0,035	0,792 ± 0,050	0,890 ± 0,040	0,985 ± 0,038	1,076 ± 0,029	1,128 ± 0,010
ДПФН (мкмоль ТЕ/г сухої речовини)	0,987 ± 0,053	0,886 ± 0,026	0,852 ± 0,030	0,863 ± 0,040	0,882 ± 0,044	0,945 ± 0,020
FRAP (мкмоль ТЕ/г сухої речовини)	0,794 ± 0,013	0,435 ± 0,016	0,575 ± 0,020	0,568 ± 0,011	0,731 ± 0,016	0,703 ± 0,014
ACW (мкмоль ТЕ/г DM)	Немає даних	0,158 ± 0,009	0,147 ± 0,009	0,166 ± 0,009	0,184 ± 0,006	0,184 ± 0,008
ПЗК (мкмоль ТЕ/г сухої речовини)	0,675 ± 0,011	0,100 ± 0,004	0,089 ± 0,002	0,091 ± 0,002	0,094 ± 0,003	0,098 ± 0,001
PCL * (мкмоль ТЕ/г DM)	0,675	0,258	0,236	0,257	0,278	0,282

Вміст ЗМФ у БХ, що містять екстракт лляної макухи, подвоївся порівняно з контролем (таблиця 3. 4), але зазначене збільшення не було безпосередньо пов'язане з кількістю екстракту лляної макухи, що замінює воду в безглютеневій суміші. Хоча збільшення антиоксидантної активності, визначене за допомогою аналізів ABTS, DPPH, FRAP та PCL-ACW, було пропорційним рівню екстракту лляної макухи у формулах GFB, Зокрема, екстракт лляної макухи 100% показав найвищу антиоксидантну силу порівняно з контролем. Результати, отримані в цьому дослідженні, узгоджуються зі спостереженнями Sanmartin та ін. [3], які досліджували нутрицевтичні властивості пшеничного хліба, збагаченого FOC. Вони виявили, що антиоксидантна сила значно зростала ($p < 0,001$) зі збільшенням відсотка лляної макухи, доданої до борошняної суміші. Крім того, Man та ін. [51] у своєму дослідженні мали на меті вивчити вплив часткової заміни пшеничного борошна борошном з смаженого льону та виявили, що загальний вміст фенолів та антиоксидантна активність зростали зі збільшенням кількості смаженого льону в печиві. Тальєрі та ін. [7] також повідомили про

підвищений рівень загального вмісту фенолів та антирадикальну активність у хлібі, збагаченому FOC.

ЕЛМ, використаний у цьому дослідженні, характеризувався помірною антиоксидантною активністю, але виявився цінним матеріалом, що впливає на біоактивні характеристики безглютенового хліба (гликозилкових барвників). Підвищена антиоксидантна здатність, виявлена у БХ, збагачених екстрактом лляної макухи, потенційно може бути результатом складу екстракту лляної макухи [27 , 29]. З іншого боку, цільне насіння льону відомо як чудове джерело лігнанів (переважно секоїзоларицирезинолу диглюкозиду) та інших фенольних сполук (ферулової кислоти, сирингової кислоти, коричної кислоти, ванільної кислоти, *n*-кумарової кислоти та галової кислоти) з антиоксидантними властивостями [52 , 53 , 54]. Було продемонстровано, що порошок насіння льону, збагачений лігнанами секоїзоларицирезинолу диглюкозиду, знижує масу тіла та накопичення жиру, покращує ліпідний профіль та знижує артеріальний тиск у тваринній моделі [55]. Більше того, у популяційному обсерваційному дослідженні «випадок-контроль» [56] повідомлялося, що споживання багатого на лігнани лляного насіння пов'язане зі зниженням ризику раку молочної залози. З іншого боку, субстрати, що доставляються екстракт лляної макухи до матриці БХ, стають реагентами реакції Майяра. Загалом, ця неферментативна реакція потемніння включає два основні типи реагентів: відновлювальні цукри та амінокислоти; однак, реакції конденсації між амінокислотами та продуктами окислення ліпідів також можуть утворювати продукти реакції Майяра (MRP), і роль ліпідів у реакції Майяра подібна до ролі відновлювальних цукрів [57]. Повідомляється, що MRP, особливо меланоїдини, мають антиоксидантну активність [58]. Таким чином, екстракт лляної макухи, що використовується як рідина, що замінює воду у формулі GFB, може сприяти утворенню MRP під час випікання. Фактично, повідомляється, що підвищена температура сприяє утворенню РМ у екстракту лляної макухи під час розпилювального сушіння [27 , 29]. Хлібна скоринка, присутня в аналізованих зразках, хоча й становила лише невелику

частину загальної ваги хліба, була основним фактором, що спостережувалось збільшення антиоксидантної здатності БХ з екстрактом лляної макухи .

Експериментальні зразки (біологічні добавки з високим вмістом жиру) були піддані кількісному описовому аналізу (КОА), результати якого представлені в таблиці 3.5. та Рисунку 3.2.

3.2. Сенсорна оцінка безглютенового хліба з екстрактом лляної макухи та пророщеної сочевиці

Екстракт лляної макухи (органічний барвник), що використовувався в хлібній суміші, суттєво вплинув ($p < 0,05$) на зовнішній вигляд аналізованих хлібів. Незалежно від їх кількості, всі зразки, що містили екстракт лляної макухи, характеризувалися регулярно розподіленим розташуванням пор (від 7,17 до 7,73 AU) порівняно з контролем (2,57). Крім того, колір м'якушки БХ з екстракт лляної макухи був більш бежевим. Щодо розміру пор, суттєвої різниці між контрольним зразком та GFB з нижчими відсотками екстракт лляної макухи (ЕЛМ 25% та ЕЛМ 50%) не виявлено; однак у зразках з вищим співвідношенням ЕЛМ до води (ЕЛМ 75% та ЕЛМ 100%) розмір пор був на 40–60% більшим, ніж у контролі. Хоча клітинна структура м'якушки суттєво впливає на якість хліба, його механічні властивості слабо залежать від розміру клітин, натомість на них впливає розподіл клітин [59]. Як зазначено в таблиці 3.4 , контрольний хліб був нижчої якості (менший питомий об'єм та щільніша м'якушка), ніж дослідний зразок з екстракт лляної макухи. Корисний вплив екстракту лляної макухи , що використовувався в експериментальній формулі, був доведений покращенням технологічних властивостей і додатково відобразився на візуальній структурі м'якушки з рівномірно розташованими порами.

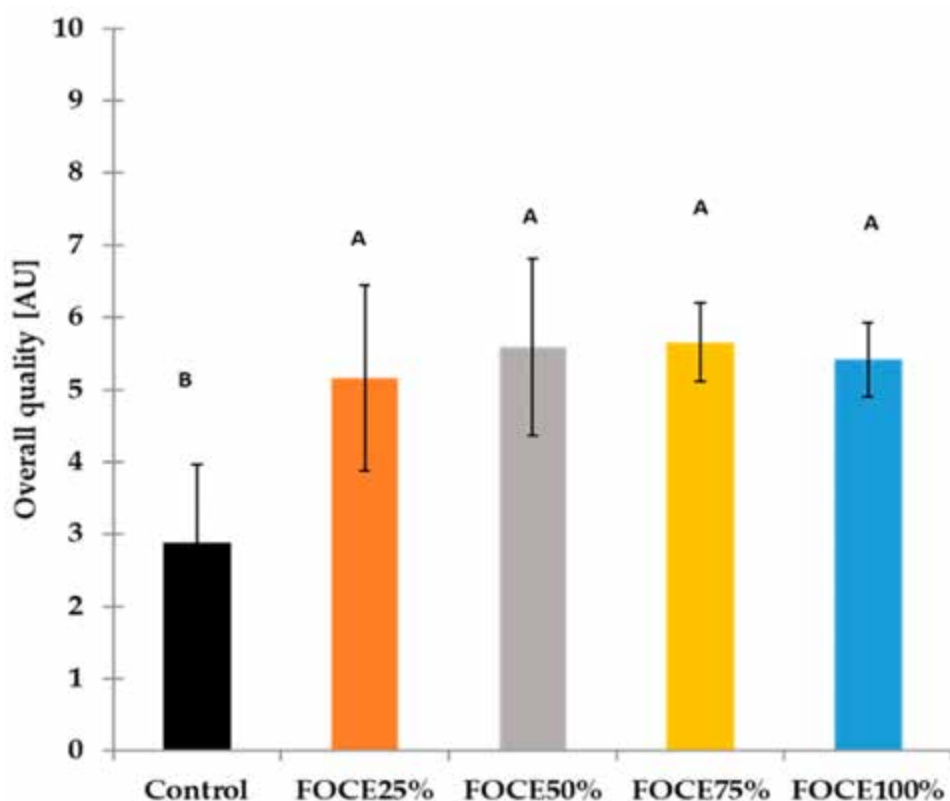


Рис. 3.2. Загальна сенсорна якість безглютенового хліба з екстракт лляної макухи . Різні літери (A, B) над стовпчиками означають, що значення суттєво відрізняються ($p < 0,05$), що визначено за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA)

Таблиця 3.4

Сенсорні характеристики безглютенового хліба з екстрактом лляної макухи

Показник		Контроль	ЕЛМ 25%	ЕЛМ 50%	ЕЛМ 75%	ЕЛМ 100%	p - значення
Зовнішній вигляд	бежевий колір	1,31	1,71	1,73	1,85	1,71	0,0005
	колокація пор	2,57	7.17	7.53	7,57	7,73	<0,0001
	розмір пор	1,41	1,63	1,81	2.24	1,98	0,0084
Запах	кислота	2.35	1,46	1,48	1,21	1,23	0,0038
	маслянистий	2.15	2.17	2.27	2.21	2,03	0,9445
	пшеничний хліб	1,61	2.00	1,79	2.07	2.10	0,2213

	солодкий	1,45	1,42	1,33	1,44	1,49	0,8731
Текстура	еластичність	5,3	6,59	6,54	6,51	6,59	0,0018
Текстура (у ротовій порожнині)	жувальність	2,23	1,93	1,89	1,82	1,98	0,3161
	клейкість	1,67	1,70	1,45	1,45	1,47	0,7294
	вологість	2,93	2,83	2,89	2,93	2,83	0,9861
Смак	пшеничний хліб	1,82	2,16	2,23	2,45	2,18	0,1201
	кислота	1,54	2,01	2,36	2,69	3,04	0,0002
	солодкий	1,27	1,87	1,80	1,77	1,82	0,0671
	солоний	0,68	0,45	0,46	0,48	0,42	0,0059
	післясмак	2,92	2,76	3,03	2,91	3,27	0,3736

Оцінюючи запахові характеристики експериментальних БХ, учасники панелі визначили чотири атрибути запаху: кислотний, маслянистий, пшеничного хліба та солодкий. Усі БХ сприймалися як однаково злегка солодкі (від 1,33 до 1,49 AU) та маслянисті (приблизно 2 AU), а їхній запах нагадував пшеничний хліб. Єдина відмінність між зразками полягала в кислотному запаху, який був значно менш інтенсивним ($p < 0,05$) у БХ, що містили вищий рівень екстракту лляної макухи (75% та 100%) порівняно з контролем. Свіже насіння льону мало унікальний, злегка горіховий смак [60], який міг бути приємним для споживачів; однак цей запах не виявлявся у БХ, збагачених екстракт лляної макухи. Тим не менш, запах отриманих хлібобулочних виробів покращився при використанні екстракту лляної макухи у рецептурі. Оцінюючи смак, учасники панелі зазначили, що БХ, що містять екстракт лляної макухи, сприймалися як значно менш солоні, ніж контроль. Це безпосередньо пов'язано з низьким вмістом натрію в ЕЛМ та його зменшенням у БХ зі збільшенням вмісту екстракту лляної макухи.

Натомість, кислий смак, який був ледь відчутним у контролі (1,54 AU), був більш виразним у GFB з екстракт лляної макухи. Зокрема, чим вище було співвідношення екстракту лляної макухи до води в безглютенівій суміші, тим інтенсивніший відчувався кислий смак. Це спостереження узгоджується з

результатами Taglieri et al. [7], які повідомили про підвищену кислотність у хлібі, збагаченому FOC, через наявність ненасичених вільних жирних кислот.

Текстура відіграє ключову роль у вподобаннях споживачів щодо харчових продуктів. У цьому дослідженні БГК оцінювалися за їхньою поведінкою в роті під час вживання та еластичністю при натисканні пальцем. Параметри текстури, що оцінювалися в роті (жувальність, клейкість, вологість), суттєво не відрізнялися для всіх експериментальних видів хліба, тоді як при натисканні пальцем на панірувальний м'якуш БГК з екстракт лляної макухи були більш еластичними, ніж у контрольному варіанті. Це може бути пов'язано з відносно високим вмістом білків у екстракт лляної макухи і, ймовірно, з розчинними волокнами, які можуть зв'язувати воду, впливаючи таким чином на текстурні властивості отриманого продукту. Хоча порівняно з контролем деякі сенсорні властивості БГК з екстракт лляної макухи погіршилися (кислий смак), зовнішній вигляд, аромат і текстура призвели до високої загальної оцінки БГК з екстракт лляної макухи. Серед експериментальних БГК з екстракт лляної макухи найвищі бали за загальну якість були отримані екстракт лляної макухи 75% (5,66 AU). Цей результат був майже вдвічі вищим порівняно з контрольним хлібом (2,88 AU). Враховуючи вищезазначені результати сенсорного аналізу, можна зробити висновок, що вищий рівень екстракту лляної макухи у формулі БХ дозволяє отримати продукт зі сприятливим зовнішнім виглядом та вищою сенсорною якістю порівняно як з контролем, що містить лише воду, так і з хлібом з нижчим вмістом екстракт лляної макухи (ЕЛМ 25% та ЕЛМ 50%).

3.3. Дослідження терміну зберігання безглютенового хліба з насінням льону та пророщеною сочевицею

Термін зберігання хлібобулочних виробів є одним із ключових показників їх якості та придатності до споживання. У безглютеновій продукції термін реалізації часто є коротким через відсутність клейковини, яка впливає на структуру та вологозатримувальні властивості тіста. У цьому дослідженні

проаналізовано вплив додавання насіння льону та пророщеного насіння сочевиці на збереження споживчих характеристик хліба протягом часу.

Для визначення терміну зберігання виготовлені зразки хліба з різними варіантами рецептур зберігалися при температурі $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря 70–75%. Спостереження проводилися протягом 7 днів. Кожного дня проводилася органолептична оцінка, а також вимірювання вологості та кислотності, визначення наявності ознак мікробіологічного псування (пліснява, зброджування, зміна запаху).

Результати дослідження засвідчили, що додавання насіння льону (завдяки високому вмісту слизів і жирів) позитивно впливає на вологоутримувальну здатність хліба, знижуючи швидкість його черствіння. Пророщене насіння сочевиці, збагачене антиоксидантами, сприяє дещо повільнішому розвитку мікрофлори.

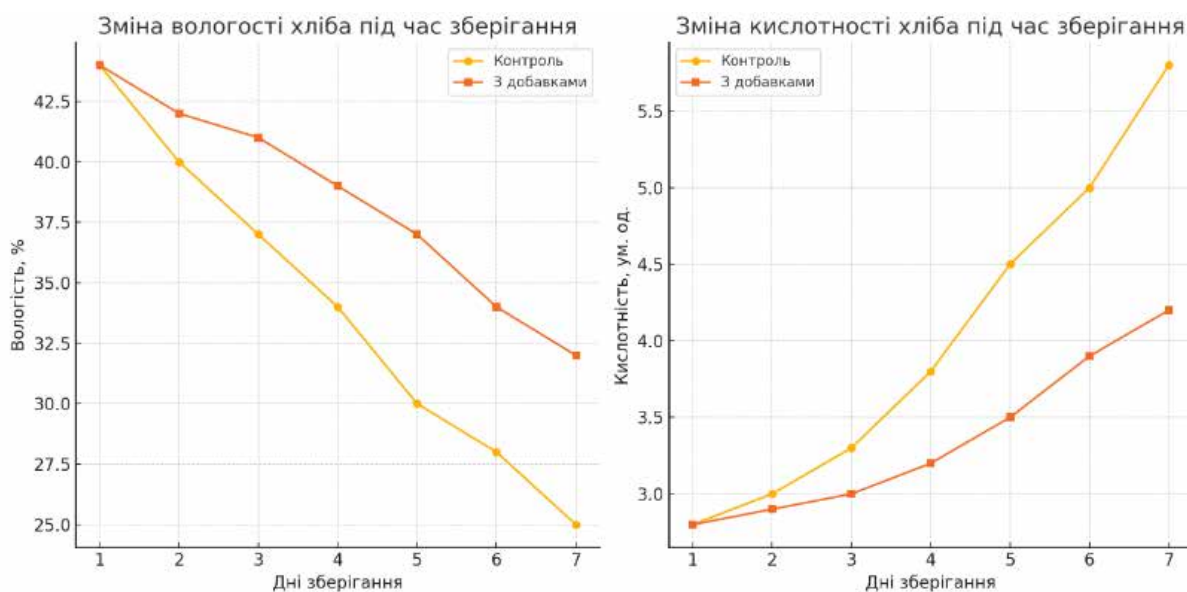


Рис. 3.3. зміну вологості та кислотності безглютенового хліба протягом 7 днів зберігання:

На графіку 3.3. представлено зміну вологості та кислотності безглютенового хліба протягом 7 днів зберігання:

- Вологість у зразку з насінням льону та пророщеною сочевицею знижується повільніше, що свідчить про покращену вологоутримувальну здатність.

- Кислотність зростає швидше у контрольному зразку, що може свідчити про активніший розвиток мікрофлори.

Ці дані підтверджують ефективність використання досліджуваних інгредієнтів для подовження терміну зберігання хліба.

Таблиця. 3.5.

Мікробіологічні показники безглютенового хліба протягом зберігання

Доба зберігання	Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КУО/г)	Наявність плісняви	Контрольний зразок	Зразок з добавками
1	$1,2 \times 10^3$	Відсутня	Відсутня	Відсутня
2	$1,6 \times 10^3$	Відсутня	Відсутня	Відсутня
3	$2,4 \times 10^3$	Поодинокі колонії	Відсутня	Відсутня
4	$4,1 \times 10^3$	Помітна	Присутня	Відсутня
5	$6,3 \times 10^4$	Виражена	Присутня	Поодинокі колонії
6	$1,2 \times 10^5$	Масова	Присутня	Помітна
7	$>1,0 \times 10^6$	Інтенсивна	Присутня	Виражена

У контрольному зразку (без добавок) активне мікробіологічне псування починалося вже з 3–4 дня зберігання, з масовим розвитком плісняви до 5–6 дня. У зразку з насінням льону та пророщеною сочевицею спостерігалось уповільнене розмноження мікроорганізмів. Пліснява з'являлась пізніше, у меншій кількості. Це вказує на антиоксидантні й антимікробні властивості функціональних добавок, що допомагають подовжити мікробіологічну стабільність хліба на 1–2 доби.

Найкращі показники терміну зберігання показали зразки хліба з додаванням 7% насіння льону та 10% пророщеної сочевиці — без ознак псування хліб зберігався до 5 днів без втрати органолептичних характеристик. Контрольний зразок (без добавок) зберігався не більше 3 днів.

Додавання насіння льону та пророщеної сочевиці до рецептури безглютенового хліба сприяє подовженню терміну його зберігання на 1–2 доби у порівнянні з контрольним зразком. Отримані результати можуть бути використані для формування рекомендацій щодо пакування, реалізації та зберігання готової продукції.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРОДУКТУ

4.1. Техніко-економічне обґрунтування виробництва безглютенового хліба

Виробництво безглютенового хліба з додаванням насіння льону та пророщеного насіння сочевиці передбачає використання спеціалізованої сировини, яка, хоча й має вищу вартість порівняно з традиційною, забезпечує підвищену харчову цінність та функціональність продукту. Основними інгредієнтами, що використовуються у рецептурі, є борошно рисове, кукурудзяне, подрібнене насіння льону, сушене пророщене насіння сочевиці, псиліум, дріжджі, сіль, олія та вода.

Таблиця 4.1

Вихідні дані (умовна рецептура на 100 кг тіста):

Інгредієнт	Кількість, кг	Ціна за 1 кг (грн)*	Вартість, грн
Борошно рисове	30	35	1050
Борошно кукурудзяне	25	28	700
Насіння льону (подрібнене)	5	45	225
Пророщена сочевиця (сушена, подрібнена)	10	50	500
Псиліум (волокна подорожника)	2	180	360
Олія соняшникова	3	45	135
Дріжджі	1	60	60
Сіль, цукор, вода, інше	–	–	80
Разом	–	–	3110 грн

Таблиця 4.2.

Витрати на виробництво (на 100 кг тіста \approx 80 кг хліба):

Стаття витрат	Сума, грн
Сировина та інгредієнти	3110
Електроенергія, вода, газ	250
Заробітна плата персоналу	400
Амортизація обладнання	150
Упаковка (80 шт. хлібин)	320
Інші витрати (логістика, втрати, податки)	270
Разом витрати	4500 грн

Собівартість одиниці продукції:

- Вироблено 80 кг хліба (\approx 80 хлібин по 1 кг або 160 по 0.5 кг).
- Собівартість 1 кг хліба = $4500 \text{ грн} / 80 \text{ кг} = 56.25 \text{ грн}$
- Собівартість 1 хлібини 500 г $\approx 28.13 \text{ грн}$

Таблиця 4.3.

Ринкова ціна та прибуток

Показник	Значення
Ринкова ціна 1 хлібини (500 г)	60 грн
Прибуток з 1 хлібини	$60 - 28.13 = 31.87 \text{ грн}$
Валовий прибуток з партії (160 шт.)	$31.87 \times 160 = 5099.20 \text{ грн}$
Рентабельність виробництва	$(\text{Прибуток} / \text{Витрати}) \times 100\% = \mathbf{113.3\%}$

Розрахунки показали, що при виготовленні партії тіста в кількості 100 кг (що орієнтовно дає 80 кг готового хліба) загальні витрати на сировину становлять близько 3110 грн. Додаткові витрати, пов'язані з оплатою праці, енергоносіями, упаковкою, амортизацією обладнання та логістикою,

складають ще приблизно 1390 грн. Загальна сума витрат на одну партію продукції — 4500 грн.

Собівартість однієї хлібини масою 500 г становить орієнтовно 28 грн. З урахуванням середньої ринкової ціни реалізації безглютенового хліба на рівні 60 грн за 500 г, прибуток з кожної одиниці продукції становить близько 32 грн. Таким чином, виробництво є високорентабельним — показник рентабельності перевищує 100%.

Це свідчить про економічну доцільність налагодження виробництва безглютенового хліба з додаванням функціональних інгредієнтів, що відповідає сучасним споживчим трендам — попиту на здорову, безглютенову та багату на білок продукцію. З огляду на зростаючий інтерес до спеціалізованої дієтичної їжі, така продукція має хороші перспективи реалізації як на внутрішньому ринку, так і для експорту.

Виробництво безглютенового хліба за рецептурою з насінням льону та пророщеною сочевицею є економічно вигідним, з високим рівнем рентабельності (понад 100%).

Найбільший внесок у вартість мають спеціалізовані інгредієнти (псиліум, сочевиця, льон), проте висока кінцева ціна на ринку компенсує витрати.

Рекомендується оптимізувати постачання (закупівля оптом, локальні виробники) для зниження собівартості.

ВИСНОВКИ

У результаті аналізу наукової літератури встановлено, що насіння льону та пророщені бобові культури є перспективними функціональними добавками у хлібопеченні. Вони позитивно впливають на поживну цінність, структуру і стабільність хлібобулочних виробів, особливо в умовах безглютенової технології, де необхідна заміна білкових і структуроутворюючих компонентів.

Хімічний склад досліджуваних інгредієнтів показав їх високу біологічну цінність. Насіння льону містить значну кількість поліненасичених жирних кислот (особливо омега-3), харчових волокон і білків. Пророщене насіння сочевиці є джерелом легкозасвоюваного білка, вітамінів групи В, мінералів (заліза, калію, магнію) та біологічно активних речовин, що покращують метаболізм.

Було розроблено рецептури безглютенового хліба із використанням рисового та кукурудзяного борошна, з додаванням різних концентрацій подрібненого насіння льону та пророщеної сочевиці. Рецептури враховували баланс між технологічними властивостями тіста і харчовою цінністю кінцевого продукту.

Оцінка органолептичних, фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей показала, що додавання досліджуваних інгредієнтів покращує текстуру та смакові характеристики безглютенового хліба. Найкращі результати досягнуто при поєднанні льону та пророщеної сочевиці у помірних кількостях — структура хліба стала більш стабільною, пористою та еластичною, смак — м'яким з легким горіховим післясмаком.

Оптимальні норми внесення досліджуваних компонентів становлять: 5–10% насіння льону від маси борошна та 10–15% пророщеної сочевиці у висушеному вигляді. Такі пропорції забезпечують найкращі показники якості хліба без погіршення структурних властивостей тіста.

Рекомендовано впроваджувати насіння льону та пророщену сочевицю як функціональні добавки у технологію безглютенового хліба з метою

підвищення його харчової цінності, поліпшення органолептичних властивостей і як натуральну альтернативу синтетичним добавкам-структуруювачам.

Техніко-економічне обґрунтування підтвердило доцільність впровадження розробленої рецептури у виробництво. Незважаючи на дещо вищу собівартість порівняно з традиційним безглютеновим хлібом, високий рівень споживчого попиту, підвищена поживна цінність продукту та значна рентабельність (понад 100%) свідчать про економічну ефективність інноваційного підходу.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що екстракт лляної макухи може успішно замінити воду у формулі безглютенового хліба як заміник, що позитивно впливає на якість розробленого випіканого виробу. Використання екстракту лляної макухи призвело до покращення харчової цінності хліба, який таким чином був збагачений білком та мінералами, особливо К та Mg. Заміна води на екстракт лляної макухи також призвела до покращення технологічних параметрів хліба, особливо у зразках з високою часткою екстракту лляної макухи до води. Всі ці корисні зміни, спричинені використанням екстракту лляної макухи, вплинули на покращення сенсорних якостей. Слід також підкреслити, що екстракт лляної макухи значно покращив антиоксидантний потенціал безглютенового хліба. Підсумовуючи, отриманий дослідний продукт з екстрактом лляної макухи, особливо ЕЛМ 75%, можна розглядати як продукт з доданою вартістю, який може збагатити щоденний раціон споживачів цінними поживними речовинами, а також інгредієнтами з оздоровчим потенціалом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ancuța, P.; Sonia, A. Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review. *Appl. Sci.* 2020, *10*, 7432.
2. Ribeiro, T.B.; Voss, G.B.; Coelho, M.C.; Pintado, M.E. Chapter 33- Food waste and by-product valorization as an integrated approach with zero waste: Future challenges. In *Future Foods*; Bhat, R.B.T.-F.F., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2022; pp. 569–596. ISBN 978-0-323-91001-9.
3. Sanmartin, C.; Taglieri, I.; Venturi, F.; Macaluso, M.; Zinnai, A.; Tavarini, S.; Botto, A.; Serra, A.; Conte, G.; Flamini, G.; et al. Flaxseed Cake as a Tool for the Improvement of Nutraceutical and Sensorial Features of Sourdough Bread. *Foods* 2020, *9*, 204.
4. Nevara, G.A.; Giwa Ibrahim, S.; Syed Muhammad, S.K.; Zawawi, N.; Mustapha, N.A.; Karim, R. Oilseed meals into foods: An approach for the valorization of oilseed by-products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2022, *28*, 1–14.
5. Arrutia, F.; Binner, E.; Williams, P.; Waldron, K.W. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends Food Sci. Technol.* 2020, *100*, 88–102.
6. Abedini, A.; Alizadeh, M.A.; Mahdavi, A.; Golzan, A.S.; Salimi, M.; Tajdar-Oranj, B.; Hosseini, H. Oilseed Cakes in the Food Industry; A Review on Applications, Challenges, and Future Perspectives. *Curr. Nutr. Food Sci.* 2022, *18*, 1–20
7. Taglieri, I.; Sanmartin, C.; Venturi, F.; Macaluso, M.; Zinnai, A.; Tavarini, S.; Serra, A.; Conte, G.; Flamini, G.; Angelini, L.G. Effect of the Leavening Agent on the Compositional and Sensorial Characteristics of Bread Fortified with Flaxseed Cake. *Appl. Sci.* 2020, *10*, 5235.
8. Pojić, M.; Dapčević Hadnađev, T.; Hadnađev, M.; Rakita, S.; Brlek, T. Bread Supplementation with Hemp Seed Cake: A By-Product of Hemp Oil Processing. *J. Food Qual.* 2015, *38*, 431–440.

9. Aranibar, C.; Aguirre, A.; Borneo, R. Utilization of a by-product of chia oil extraction as a potential source for value addition in wheat muffins. *J. Food Sci. Technol.* 2019, *56*, 4189–4197.
10. Radočaj, O.; Dimić, E.; Tsao, R. Effects of Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seed Oil Press-Cake and Decaffeinated Green Tea Leaves (*Camellia sinensis*) on Functional Characteristics of Gluten-Free Crackers. *J. Food Sci.* 2014, *79*, C318–C325.
11. Kasote, D.M. Flaxseed phenolics as natural antioxidants. *Int. Food Res. J.* 2013, *20*, 27–34.
12. Mercier, S.; Villeneuve, S.; Moresoli, C.; Mondor, M.; Marcos, B.; Power, K.A. Flaxseed-Enriched Cereal-Based Products: A Review of the Impact of Processing Conditions. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2014, *13*, 400–412.
13. Kajla, P.; Sharma, A.; Sood, D.R. Flaxseed-A potential functional food source. *J. Food Sci. Technol.* 2015, *52*, 1857–1871
14. Kaur, M.; Singh, V.; Kaur, R. Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioact. Carbohydr. Diet. Fibre* 2017, *9*, 14–20
15. Khouryieh, H.; Aramouni, F. Effect of flaxseed flour incorporation on the physical properties and consumer acceptability of cereal bars. *Food Sci. Technol. Int.* 2013, *19*, 549–556.
16. Drozłowska, E.; Bartkowiak, A.; Trocer, P.; Kostek, M.; Tarnowiecka-Kuca, A.; Łopusiewicz, Ł. Formulation and Evaluation of Spray-Dried Reconstituted Flaxseed Oil-In-Water Emulsions Based on Flaxseed Oil Cake Extract as Emulsifying and Stabilizing Agent. *Foods* 2021, *10*, 256.
17. Conte, P.; Fadda, C.; Piga, A.; Collar, C. Techno-functional and nutritional performance of commercial breads available in Europe. *Food Sci. Technol. Int.* 2016, *22*, 621–633.
18. Sabença, C.; Ribeiro, M.; Sousa, T.D.; Poeta, P.; Bagulho, A.S.; Igrejas, G. Wheat/Gluten-Related Disorders and Gluten-Free Diet Misconceptions: A Review. *Foods* 2021, *10*, 1765

19. Aguiar, E.V.; Santos, F.G.; Krupa-Kozak, U.; Capriles, V.D. Nutritional facts regarding commercially available gluten-free bread worldwide: Recent advances and future challenges. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2021, 22, 1–13
20. Conte, P.; Fadda, C.; Drabińska, N.; Krupa-Kozak, U. Technological and Nutritional Challenges, and Novelty in Gluten-Free Breadmaking-A Review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 2019, 69, 5–21.
21. Culetu, A.; Duta, D.E.; Papageorgiou, M.; Varzakas, T. The Role of Hydrocolloids in Gluten-Free Bread and Pasta; Rheology, Characteristics, Staling and Glycemic Index. *Foods* 2021, 10, 3121.
22. Morreale, F.; Garzón, R.; Rosell, C.M. Understanding the role of hydrocolloids viscosity and hydration in developing gluten-free bread. A study with hydroxypropylmethylcellulose. *Food Hydrocoll.* 2018, 77, 629–635.
23. Hager, A.-S.; Arendt, E.K. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocoll.* 2013, 32, 195–203.
24. Ozkoc, S.O.; Seyhun, N. Effect of Gum Type and Flaxseed Concentration on Quality of Gluten-Free Breads Made from Frozen Dough Baked in Infrared-Microwave Combination Oven. *Food Bioprocess Technol.* 2015, 8, 2500–2506.
25. Drozłowska, E.; Bartkowiak, A.; Łopusiewicz, Ł. Characterization of flaxseed oil bimodal emulsions prepared with flaxseed oil cake extract applied as a natural emulsifying agent. *Polymers* 2020, 12, 2207
26. Drozłowska, E.; Łopusiewicz, Ł.; Mężyńska, M.; Bartkowiak, A. Valorization of flaxseed oil cake residual from cold-press oil production as a material for preparation of spray-dried functional powders for food applications as emulsion stabilizers. *Biomolecules* 2020, 10, 153.
27. Łopusiewicz, Ł.; Bogusławska-Wąs, E.; Drozłowska, E.; Trocer, P.; Dłubała, A.; Mazurkiewicz-Zapałowicz, K.; Bartkowiak, A. The Application of Spray-Dried and Reconstituted Flaxseed Oil Cake Extract as Encapsulating Material

and Carrier for Probiotic *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG. *Materials* 2021, *14*, 5324

28. Drożdowska, E.; Bartkowiak, A.; Trocer, P.; Kostek, M.; Tarnowiecka-Kuca, A.; Bienkiewicz, G.; Łopusiewicz, Ł. The influence of flaxseed oil cake extract on oxidative stability of microencapsulated flaxseed oil in spray-dried powders. *Antioxidants* 2021, *10*, 211.

29. Pham, L.B.; Wang, B.; Zisu, B.; Adhikari, B. Complexation between flaxseed protein isolate and phenolic compounds: Effects on interfacial, emulsifying and antioxidant properties of emulsions. *Food Hydrocoll.* 2019, *94*, 20–29

30. Krupa-Kozak, U.; Drabińska, N.; Bączek, N.; Šimková, K.; Starowicz, M.; Jeliński, T. Application of Broccoli Leaf Powder in Gluten-Free Bread: An Innovative Approach to Improve Its Bioactive Potential and Technological Quality. *Foods* 2021, *10*, 819

31. Capriles, V.D.; dos Santos, F.G.; Arêas, J.A.G. Gluten-free breadmaking: Improving nutritional and bioactive compounds. *J. Cereal Sci.* 2016, *67*, 83–91.

32. Kulai, T.; Rashid, M. Assessment of Nutritional Adequacy of Packaged Gluten-free Food Products. *Can. J. Diet. Pract. Res.* 2014, *75*, 186–190

33. Wu, J.H.Y.; Neal, B.; Trevena, H.; Crino, M.; Stuart-Smith, W.; Faulkner-Hogg, K.; Yu Louie, J.C.; Dunford, E. Are gluten-free foods healthier than non-gluten-free foods? An evaluation of supermarket products in Australia. *Br. J. Nutr.* 2015, *114*, 448–454.

34. Chung, M.W.Y.; Lei, B.; Li-Chan, E.C.Y. Isolation and structural characterization of the major protein fraction from NorMan flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Food Chem.* 2005, *90*, 271–279.

35. Tavarini, S.; Castagna, A.; Conte, G.; Foschi, L.; Sanmartin, C.; Incrocci, L.; Ranieri, A.; Serra, A.; Angelini, L.G. Evaluation of Chemical Composition of Two Linseed Varieties as Sources of Health-Beneficial Substances. *Molecules* 2019, *24*, 3729.

36. Morris, D.H. *Flax: A Health and Nutrition Primer*, 4th ed.; Flax Council of Canada: Winnipeg, MB, Canada, 2007; ISBN 9780969, 607366 0969607369.
37. Carter, J.F. Potential of flaxseed and flaxseed oil in baked goods and other products in human nutrition. *Cereal Foods World* 1993, 38, 753–759.
38. Stone, M.S.; Martin, B.R.; Weaver, C.M. Short-Term RCT of Increased Dietary Potassium from Potato or Potassium Gluconate: Effect on Blood Pressure, Microcirculation, and Potassium and Sodium Retention in Pre-Hypertensive-to-Hypertensive Adults. *Nutrients* 2021, 13, 1610.
39. Ding, S.; Peng, B.; Li, Y.; Yang, J. Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol. *Food Chem.* 2019, 283, 123–130
40. Miranda-Ramos, K.C.; Haros, C.M. Combined Effect of Chia, Quinoa and Amaranth Incorporation on the Physico-Chemical, Nutritional and Functional Quality of Fresh Bread. *Foods* 2020, 9, 1859.
41. Collar, C.; Santos, E.; Rosell, C.M. Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *J. Food Eng.* 2007, 78, 820–826.
42. Gan, Z.; Ellis, P.R.; Vaughan, J.G.; Galliard, T. Some effects of non-endosperm components of wheat and of added gluten on wholemeal bread microstructure. *J. Cereal Sci.* 1989, 10, 81–91.
43. Koca, A.F.; Anil, M. Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. *J. Sci. Food Agric.* 2007, 87, 1172–1175.
44. Bartkiene, E.; Juodeikiene, G.; Vidmantiene, D. Nutritional quality of fermented defatted soya and flaxseed flours and their effect on texture and sensory characteristics of wheat sourdough bread. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2012, 63, 722–729.
45. Sabanis, D.; Tzia, C. Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. *Food Sci. Technol. Int.* 2011, 17, 279–291

46. Drożdowska, E.; Łopusiewicz, Ł.; Mężyńska, M.; Bartkowiak, A. The effect of native and denaturated flaxseed meal extract on physiochemical properties of low fat mayonnaises. *J. Food Meas. Charact.* 2020, *14*, 1135–1145
47. Gallagher, E.; Gormley, T.R.; Arendt, E.K. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *J. Food Eng.* 2003, *56*, 153–161.
48. Mokrzycki, W.S.; Tatol, M. Colour difference ΔE -A survey Mokrzycki. *Mach. Graph. Vis.* 2011, *20*, 383–411.
49. Morris, M.C.; Evans, D.A.; Tangney, C.C.; Bienias, J.L.; Wilson, R.S.; Aggarwal, N.T.; Scherr, P.A. Relation of the tocopherol forms to incident Alzheimer disease and to cognitive change. *Am. J. Clin. Nutr.* 2005, *81*, 508–514
50. Man, S.M.; Stan, L.; Păucean, A.; Chiș, M.S.; Mureșan, V.; Socaci, S.A.; Pop, A.; Muste, S. Nutritional, Sensory, Texture Properties and Volatile Compounds Profile of Biscuits with Roasted Flaxseed Flour Partially Substituting for Wheat Flour. *Appl. Sci.* 2021, *11*, 4791.
51. Deng, Q.; Yu, X.; Ma, F.; Xu, J.; Huang, F.; Huang, Q.; Sheng, F. Comparative analysis of the in-vitro antioxidant activity and bioactive compounds of flaxseed in China according to variety and geographical origin. *Int. J. Food Prop.* 2017, *20*, S2708–S2722.
52. Kitts, D.D.; Yuan, Y.V.; Wijewickreme, A.N.; Thompson, L.U. Antioxidant activity of the flaxseed lignan secoisolariciresinol diglycoside and its mammalian lignan metabolites enterodiol and enterolactone. *Mol. Cell. Biochem.* 1999, *202*, 91–100
53. Touré, A.; Xueming, X. Flaxseed Lignans: Source, Biosynthesis, Metabolism, Antioxidant Activity, Bio-Active Components, and Health Benefits. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2010, *9*, 261–269.
54. Park, J.B.; Velasquez, M.T. Potential effects of lignan-enriched flaxseed powder on bodyweight, visceral fat, lipid profile, and blood pressure in rats. *Fitoterapia* 2012, *83*, 941–946.

55. Lowcock, E.C.; Cotterchio, M.; Boucher, B.A. Consumption of flaxseed, a rich source of lignans, is associated with reduced breast cancer risk. *Cancer Causes Control* 2013, *24*, 813–816
56. Hidalgo, F.J.; Zamora, R. The role of lipids in nonenzymatic browning. *Grasas Aceites* 2000, *51*, 35–49
57. Yilmaz, Y.; Toledo, R. Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products. *Food Chem.* 2005, *93*, 273–278.
58. Zghal, M.C.; Scanlon, M.G.; Sapirstein, H.D. Cellular Structure of Bread Crumb and its Influence on Mechanical Properties. *J. Cereal Sci.* 2002, *36*, 167–176
59. Gutiérrez, C.; Rubilar, M.; Jara, C.; Verdugo, M.; Sineiro, J.; Shene, C. Flaxseed and flaxseed cake as a source of compounds for food industry. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2010, *10*, 454–463
60. AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th ed.; Current Through Revision 4; William Horwitz, W., Latimer, G., Jr., Eds.; Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg, MA, USA, 2011; ISBN 0-935584-82-X.
61. Maclean, W.C.; Harnly, J.M.; Chen, J.; Chevassus-Agnes, S.; Gilani, G.; Livesey, G.; Mathioudakis, B.; Munoz De Chavez, M.; Devasconcellos, M.T.; Warwick, P. Food energy—Methods of analysis and conversion factors. In *Food and Nutrition Paper #77, Proceedings of the Food and Agriculture Organization of the United Nations Technical Workshop Report, Rome, Italy, 3–6 December 2002*; Agricultural Research Service, US Department of Agriculture: Beltsville, MD, USA, 2003; ISSN 02543-4725
62. Horszwald, A.; Andlauer, W. Characterisation of bioactive compounds in berry juices by traditional photometric and modern microplate methods. *J. Berry Res.* 2011, *1*, 189–199.
63. Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 1995, *28*, 25–30.

64. Benzie, I.F.F.; Strain, J.J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Anal. Biochem.* 1996, *239*, 70–76
65. Zieliński, H.; Zielińska, D.; Kostyra, H. Antioxidant capacity of a new crispy type food products determined by updated analytical strategies. *Food Chem.* 2012, *130*, 1098–1104.
66. *ISO 8586-1:1993*; Sensory Analysis—General Guidance for the Selection, Training and Monitoring of Assessors—Part 1: Selected Assessors. ISO: Geneva, Switzerland, 1993.
67. Lawless, H.T.; Heymann, H. *Sensory Evaluation of Food—Principles and Practices*; Springer: New York, NY, USA, 2010; pp. 473–478