ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Магістр»
на тему:

Обґрунтування технології виробництва хліба пшеничного, збагаченого борошном бататно-гарбузовим

Виконав: здобувач вищої освіти 2 курсу,
групи МгХТ-1-23
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Сергій ІВАНІВ

Керівник: _____ Наталія СОВА

Рецензент: _____

Дніпро 2024

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій
Ступінь вищої освіти: «Магістр»
Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»
Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
_____Віталій КОШУЛЬКО

«___» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Іваніву Сергію Олександровичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування технології виробництва хліба пшеничного, збагаченого борошном бататно-гарбузовим».
Керівник роботи: Сова Наталія Анатоліївна, кандидатка технічних наук, доцентка, затверджені наказом закладу вищої освіти від «12» листопада 2024 року №3785.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 13 грудня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Літературні джерела та періодичні видання. 2. Технологія випікання хліба

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1. Огляд літературних джерел. 2. Характеристика сировини та методологія експериментальних досліджень. 3. Експериментальна частина. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Організаційно-економічна частина. Загальні висновки та пропозиції. Бібліографія. Додатки.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Огляд літературних джерел. 2. Мета та задачі досліджень. 3. Матеріали і методи дослідження. 4. Результати досліджень. 5. Організаційно-економічна частина. 6. Загальні висновки та пропозиції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 5	доцентка СОВА Наталія	12.11.2024	13.12.2024

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	12.11-13.11.2024	виконано
2	Огляд літературних джерел	14.11-21.11.2024	виконано
3	Характеристика сировини та методологія експериментальних досліджень	22.11-26.11.2024	виконано
4	Експериментальна частина	27.11-05.12.2024	виконано
5	Охорона праці та захист навколишнього середовища	06.12-07.12.2024	виконано
6	Організаційно-економічна частина	08.12-09.12.2024	виконано
7	Загальні висновки та пропозиції, бібліографія	10.12-11.12.2024	виконано
8	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	12.12-13.12.2024	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Сергій ІВАНІВ
(підпис)

Керівник роботи _____ Наталія СОВА

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи містить: 61 сторінку друкованого тексту, 14 рисунків, 6 таблиць та використано 54 літературних джерела.

Мета дослідження – обґрунтувати та оптимізувати технологію випікання пшеничного хліба, збагаченого бататно-гарбузовим борошном, для підвищення його поживної цінності та органолептичних характеристик при збереженні необхідної якості продукту.

Об'єкт дослідження: процес випікання хліба з композитного борошна, яке включає пшеничне, бататне та гарбузове борошно.

Предмет дослідження: вплив бататно-гарбузового борошна на реологічні властивості тіста, якість хліба, зокрема на поживну цінність, текстуру, об'ємний вихід, тривалість зберігання та економічну ефективність виробництва композитного хліба.

У роботі представлено всебічний аналіз технології виробництва хліба з використанням пшеничного, бататного та гарбузового борошна. Дослідження структуровано на кілька розділів, що охоплюють теоретичні, методичні та експериментальні аспекти. Огляд літературних джерел присвячено технології виробництва хліба, де проаналізовано різноманітні види борошна, їх властивості та вплив на якість хлібобулочних виробів. Окрему увагу приділено попереднім дослідженням, що дозволяє виділити прогалини в існуючих знаннях та обґрунтувати новизну власної роботи. Характеристика сировини та методологія експериментальних досліджень детально описує сировину, планування досліджень та методику аналізу зразків. Описано оптимізацію технологічних факторів та статистичний аналіз, які використовуються для перевірки гіпотез та отримання достовірних результатів. Експериментальна частина фокусується на дослідженні фізико-хімічних характеристик борошна, реологічних властивостей тіста, фізико-механічних властивостей хліба, текстурних властивостей м'якуша, а також впливу обробки на черствіння хліба. Проведена оптимізація факторів обробки дозволила підвищити якість готового продукту. Охорона праці та захист навколишнього середовища розглядає заходи безпеки під час технологічних процесів, що є важливими для запобігання травмам та забезпечення здоров'я працівників. Організаційно-економічна частина містить аналіз витрат на виробництво хліба, а також оцінку економічної ефективності запропонованих рішень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХЛІБ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА, БОРОШНО ПШЕНИЧНЕ, БОРОШНО БАТАТНЕ, БОРОШНО ГАРБУЗОВЕ, РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ХЛІБОБУЛОЧНІ ВИРОБИ, СИРОВИНА, ДОСЛІДЖЕННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА, ЯКІСТЬ ПРОДУКТУ.

ЗМІСТ

ВСТУП 5
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ 7
1.1 Хліб та технологія його виробництва 7
1.2 Пшеничне, бататне і гарбузове борошно 12
1.3 Аналіз попередніх досліджень 13
Висновки за розділом 15
2 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 17
2.1 Сировина, використана в дослідженні 17
2.2 Планування досліджень 18
2.3 Методика аналізу зразків 20
2.3.1 Аналіз реологічних характеристик тіста 20
2.3.2 Вимірювання об’єму та питомого об’єму виробу 20
2.3.3 Аналіз вмісту вологи та водної активності м’якуша 21
2.3.4 Аналіз текстурних характеристик м’якуша 21
2.4 Оптимізація технологічних факторів і статистичний аналіз 24
Висновки за розділом 25
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА 26
3.1 Фізико-хімічні характеристики борошна 26
3.2 Реологічні властивості тіста 27
3.3 Фізико-механічні властивості хліба 30
3.4 Текстурні властивості м’якуша 34
3.5 Вплив факторів обробки на черствіння хліба 41
3.6 Оптимізація факторів обробки 43
Висновки за розділом 45
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 46
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ 53
БІБЛІОГРАФІЯ 55

ВСТУП

Сьогодні адекватне споживання життєво необхідних харчових нутрієнтів та біоактивних сполук, таких як вітаміни, харчові волокна, каротиноїди, поліфеноли, флавоноїди та полісахариди, є критично важливим для підтримання здоров'я. Достатнє споживання цих сполук не лише запобігає розвитку хронічних захворювань, таких як діабет 2 типу, рак та серцево-судинні захворювання, але й зміцнює імунну систему людини. Проте, глобальні кризи, зумовлені змінами клімату, пандемією та політичними конфліктами, ставлять під загрозу продовольчу безпеку, що підтверджується тим, що в 2021 р. понад 700 млн людей зазнали голоду, а 2,3 млрд людей стикнулися з продовольчою нестабільністю.

У цьому контексті важливо реформувати політики та впроваджувати інноваційні технології у продовольчій галузі, щоб задовольнити зростаючий попит на їжу. Диверсифікація виробництв шляхом включення забутих та недооцінених культур, таких як батат та гарбуз, може суттєво підвищити продовольчу безпеку. Батат, зокрема, є джерелом β-каротину та інших біоактивних сполук, проте його потенціал залишається недооціненим. Переробка таких культур на борошно може не лише підвищити їх споживання, але й покращити поживну цінність традиційних продуктів, таких як хліб.

Таким чином, дослідження впливу часткової заміни борошна пшеничного борошном з батату і гарбуза на якісні характеристики хліба має важливе значення для покращення продовольчої безпеки та здоров'я населення. Розробка оптимальних умов випікання та пропорцій борошна дозволить не лише знизити витрати на виробництво, але й створити більш поживні та корисні харчові продукти, що відповідають сучасним потребам споживачів.

Мета дослідження – обґрунтувати та оптимізувати технологію випікання пшеничного хліба, збагаченого бататно-гарбузовим борошном, для підвищення його поживної цінності та органолептичних характеристик при збереженні необхідної якості продукту.

Завдання дослідження:

1. Дослідити вплив бататно-гарбузового борошна на реологічні властивості тіста та якість готового хліба.

2. Встановити оптимальні пропорції пшеничного, бататного та гарбузового борошна для отримання хліба з високими показниками поживної цінності та споживчих властивостей.

3. Оцінити вплив температури і тривалості випікання на якість композитного хліба та його зберігання.

4. Вивчити вплив композитного борошна на процес черствіння хліба під час зберігання.

5. Оцінити економічну ефективність виробництва композитного хліба порівняно з традиційним пшеничним хлібом.

Об'єкт дослідження: процес випікання хліба з композитного борошна, який включає пшеничне, бататне та гарбузове борошно.

Предмет дослідження: вплив бататно-гарбузового борошна на реологічні властивості тіста, якість хліба, зокрема на поживну цінність, текстуру, об'ємний вихід, тривалість зберігання та економічну ефективність виробництва композитного хліба.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Хліб та технологія його виробництва

Хліб – це основний харчовий продукт, що виготовляють з тіста з борошна та води, зазвичай шляхом випікання. Протягом всієї історії він користується популярністю у всьому світі і є одним із найстаріших штучних продуктів, що має важливе значення з початком сільського господарства. Загалом з традиційного пшеничного тіста виробляють великий асортимент харчової продукції (рис. 1.1).

Рисунок 1.1 – Способи виробництва виробів з тіста

Існує багато комбінацій і пропорцій видів борошна та інших інгредієнтів, а також різних традиційних рецептів і способів приготування хліба. Як результат, існує широкий асортимент видів, форм, розмірів і текстур хліба у різних регіонах.

Хліб може бути заквашений багатьма різними способами, починаючи з використання природних мікробів (наприклад, в рецептах на заквасці) до методів штучної аерації під високим тиском під час приготування або випікання. Однак деякі продукти залишаються незаквашеними, або з уподобань, або з традиційних чи релігійних причин. Багато незернових інгредієнтів можуть бути включені до рецептур хліба, починаючи з фруктів та горіхів до різних жирів (рис. 1.2). Комерційний хліб, зокрема, зазвичай містить добавки, деякі з яких не є харчовими, для покращення смаку, текстури, кольору, терміну придатності або полегшення виробництва.

Рисунок 1.2 – Сировина для виробництва хліба

Перший етап обробки тіста – це замішування. Під час замішування визначають як розвиток тіста, так і його температуру. Якщо один з них або обидва не є вірними, якість обробки та продукту постраждає.

Не можна достатньо підкреслити, що замішування – це найважливіший етап усього процесу. Якщо зробити це неправильно, потім виправити це не вдасться. Замішування – єдиний дискретний етап в іншому безперервному процесі. Тому

потрібна дисципліна. Ще одним аспектом є те, що всі інгредієнти повинні бути правильно зважені і що всі інгредієнти повинні бути додані до тіста.

Під час процесу замішування температура тіста підвищується через: тепло, що генерується силами тертя, тепло гідратації борошна.

Багато хліба заквашується дріжджами. Найбільш поширеним видом дріжджів, що використовують для заквашування хліба, є *Saccharomyces cerevisiae*, той самий вид, що використовується для бродіння алкогольних напоїв. Ці дріжджі ферментують деякі вуглеводи в борошні, включаючи цукор, виробляючи вуглекислий газ. Більшість пекарів у США заквашують своє тісто комерційно виробленими пекарськими дріжджами. Пекарські дріжджі мають перевагу в тому, що вони дають однорідні, швидкі та надійні результати, оскільки отримані з чистої культури. Багато ремісничих пекарів самі виробляють свої дріжджі, готуючи культуру росту, яку вони потім використовують для виготовлення хліба. Коли ця культура підтримується в правильних умовах, вона продовжує рости та забезпечує заквашування протягом багатьох років.

Як пекарські дріжджі, так і методи на заквасці для випікання хліба слідують одному й тому ж шаблону. Вода змішується з борошном, сіллю та закваскою (пекарськими дріжджами або стартером на заквасці). Інші добавки (спеції, трави, жири, насіння, фрукти тощо) не є необхідними для випікання хліба, але часто використовуються. Замішане тісто потім підходить один або кілька разів, потім формуються вироби, і (після необов'язкового фінального підйому) хліб випікається в печі.

Багато хліба виготовляють з «прямого тіста», що означає, що всі інгредієнти поєднуються в одному етапі, і тісто випікається після часу підйому; інші виготовляються з «попередньої ферментації», в якій закваска комбінується з деякою кількістю борошна та води за день або близько до випікання і дозволяється ферментуватися протягом ночі. У день випікання додають решту інгредієнтів, і процес триває так, як з прямим тістом. Це призводить до більш ароматного хліба з кращою текстурою.

Багато пекарів вважають метод стартера компромісом між високою надійністю результатів пекарських дріжджів і смаком та складністю більш тривалої ферментації. Це також дозволяє пекареві використовувати лише

мінімальну кількість пекарських дріжджів, які були рідкісними та дорогими, коли вони вперше стали доступними. Більшість дріжджових попередніх ферментацій поділяються на одну з трьох категорій: рідка суміш, що складається з приблизно рівних кількостей борошна та води (за вагою); щільна суміш з вищим співвідношенням борошна; та суміш, яка є просто частиною тіста, зарезервованою з попередньої партії. Закваска робить метод попередньої ферментації ще одним кроком далі, змішуючи борошно та воду, щоб дозволити природно вживаним дріжджам і бактеріям розмножуватися (зазвичай *Saccharomyces exiguus*, який є більш кислотостійким, ніж *S. cerevisiae*, і різні види *Lactobacillus*).

Остаточний етап виготовлення хліба – це процес випікання, в якому шматок тіста перетворюється на легкий, легко засвоюваний і ароматний продукт під впливом тепла. У цьому процесі випікання природні структури основних складових тіста незворотно змінюються внаслідок ряду фізичних, хімічних і біохімічних взаємодій. Декілька явних явищ викликані теплом у печі:

- розширення обсягу (так званий «підйом у печі»);
- формування скоринки;
- інактивування дріжджів та ферментів;
- коагуляція білків, що містяться в борошні;
- часткова желатинізація крохмалю.

Водночас цей процес супроводжується формуванням нових ароматичних речовин, таких як карамелізовані цукри, піродекстрини та широкий спектр ароматичних сполук. Хоча багато з хімічних і фізичних реакцій, що відбуваються на цьому етапі, лише частково зрозумілі, безсумнівно, що якість випечених продуктів впливає на швидкість подачі тепла та кількість тепла, що постачається, вологість у камері випікання та час випікання.

Табл. 1.1 показує, що відбувається з тістом під час процесу випікання при різних температурах.

Таблиця 1.1 – Зміна властивостей тіста під час випікання

Температура	Явища
30 °C	Через підвищення температури гази в тісті розширюються
	Ензиматичне виробництво цукрів
	Розчинність CO_2 зменшується
45–50 °C	Дріжджі гинуть
50–60 °C	Інтенсивна ензиматична активність
	Крохмаль починає желатинізуватися
60–80 °C	Кінець желатинізації крохмалю
	Ензиматична активність припиняється через денатурацію ферментів
	Починає формуватися м’якоть
	Взаємодія між клейковиною і крохмалем
100 °C	Вода починає кипіти
	Формування водяної пари
	Перші ознаки формування скоринки
110–120 °C	Формування блідо-жовтих декстринів у скоринці
130–140 °C	Формування коричневих декстринів у скоринці
140–150 °C	Початок процесу карамелізації
150–200 °C	Формування «скоринковості» хліба та ароматичних сполук
> 200 °C	Вуглецевання скоринки
	Формування пористої чорної маси

Хліб повинен охолоджуватися належним чином з двох основних причин:

1. Для нарізки температура в центрі повинна бути нижчою за 35 °C; в іншому випадку шматочки будуть знову прилипати один до одного (крохмаль утворює пасту, яка діє як «клей»).

2. Щоб уникнути мікробіологічного псування.

Основною причиною мікробіологічних інфекцій є висока (неминуча) вологість у зоні зберігання та конденсація на хлібі, якщо немає належного температурного контролю в зоні зберігання. Усі складські приміщення повинні бути чистими, добре провітрюваними та вільними від сторонніх запахів. У випадках використання примусової вентиляції вхідне повітря повинно бути відфільтроване перед потраплянням у зону охолодження.

Після виймання з печі виріб втрачає тепло в навколишнє середовище та одночасно втрачає вагу через втрату вологи. Температура скоринки хліба при виході з печі коливається між 150 °C та 180 °C залежно від умов випікання. На межі

між м’якоттю та скоринкою температура становить 100 °C. Вміст вологи в скоринці коливається між 0 і 3 %. Також, вміст вологи в м’якоті вищий, ніж у тісті (± 45 %).

Під час охолодження хліба існує значний температурний градієнт між скоринкою та м’якоттю. При поступовому охолодженні цей градієнт поступово зменшується до нуля. З іншого боку, градієнт вологи між скоринкою та м’якоттю швидко зменшується до нуля і не змінюється суттєво під час охолодження та зберігання. Перешкодою для швидкості втрати вологи під час охолодження є тонкий шар нерухомого повітря, який прилягає до зовнішньої поверхні хліба. Цей тонкий шар заважає вільній зовнішній дифузії вологи в атмосферу.

1.2 Пшеничне, бататне і гарбузове борошно

Зернові продукти є основним джерелом енергії для людського організму і можуть бути виготовлені з різних інгредієнтів, включаючи рис, пшеницю, гречку, овес, просо та рослинні джерела. Пшениця (*Triticum aestivum*) є злаком, який широко вживають і важливим товаром у всьому світі завдяки своїм білкам клейковини, які мають еластичність і розтяжність, необхідні для випікання та локшини [1]. Пшеничне борошно містить 71,98 % вуглеводів, 12,24 % білків, 2,46 % жирів, 0,52 % мінералів [2] та значну кількість вітамінів (вітамін B_6, тіамін і рибофлавін) [3]. Внаслідок цього основні поживні речовини готової продукції є такими ж, як і в пшеничному борошні. Однак значення поживних речовин і активних інгредієнтів недостатнє для задоволення високих потреб у білках та антиоксидантах. Багато дослідників працюють над поліпшенням якості борошняної продукції шляхом її збагачення. Згідно з дослідженням Сузаддули та ін. [4], локшина, виготовлена з суміші 30 % вівсяного борошна та 70 % пшеничного борошна, показала найвищі результати у проксимальних, мінеральних та сенсорних тестах.

Гарбуз (*Cucurbita maxima*) є чудовим джерелом β-каротину, клітковини, вітамінів і мінералів, які приносять користь організму. Каротиноїди, такі як

β-каротин, діють як антиоксиданти і можуть суттєво вплинути на здоров'я людини, зокрема знижуючи ризик серцевих захворювань, захищаючи від вікових дегенеративних захворювань сітківки і зміцнюючи імунну систему [5]. У пшениці та інших злаках міститься мінімальна кількість природного β-каротину. Щоб надати кольору та вітаміну А, синтетичний β-каротин використовують в різних хлібобулочних виробах, таких як солодкі рулети, випічка, заморожені вафлі, м'яке печиво та закуски [6]. Нантачай та ін. [7] виявили, що збільшення кількості вівсяного борошна, доданого до пшеничного борошна на 5–20 %, призводить до значного підвищення вмісту золи та β-каротину порівняно з контрольною групою. Озгірен і Япар [8] зазначили, що локшина, виготовлена з заміною 5–10 % пшеничного борошна на борошно з гарбуза, мала вищий вміст золи, клітковини, магнію, калію та цинку, при цьому зменшився вміст жирів, вуглеводів та енергетична цінність. Незважаючи на те, що гарбуз є хорошим джерелом β-каротину і його можна вживати як самостійний продукт, проведено обмежену кількість досліджень щодо його додавання до борошняних виробів.

Батат, солодка картопля з оранжевою м'якоттю (*Ipomoea batatas L*) містить різноманітні вітаміни та мінерали, які мають потенційні поживні переваги для задоволення потреб у поживних речовинах і боротьби з недоїданням. Крім того, дослідження показали, що борошно з оранжевої м'якоті солодкої картоплі містить більше β-каротину, ніж пшеничне борошно [9]. Багато харчових продуктів, включаючи хліб, локшину, пасту, цукровий сироп, чіпси, пластівці, заморожені продукти, картоплю фрі, пюре та печиво, були досліджені з використанням борошна з солодкої картоплі [10]. Салама та ін. [11] покращили текстуру, мікроструктуру та поживну цінність хліба, додаючи 0–50 % борошна з солодкої картоплі до пшеничного борошна. Наразі існує недостатньо інформаціяї щодо виробництва хліба з композитного борошна, що складається з гарбуза, солодкої картоплі (батату) та пшениці.

1.3 Аналіз попередніх досліджень

Попередні дослідження показали, що диверсифікація для включення забутих та недостатньо використовуваних культур у розробку харчових продуктів, що споживаються, може значно покращити продовольчу та харчову безпеку [12, 13]. Наприклад, батат із помаранчевою м’якоттю є багатим джерелом β-каротину, фенолів, флавоноїдів, вітамінів, вуглеводів та мінералів [14, 15]. Подібно, гарбуз (*Cucurbita spp*) багатий на β-каротин, харчові волокна, вітамін С, поліфеноли та флавоноїдні сполуки [16]. Тому переробка батату і гарбуза на якісне борошно для використання у виробництві популярних харчових продуктів може сприяти підвищенню продовольчої безпеки, одночасно збільшуючи споживання біоактивних сполук для покращення здоров’я та зміцнення імунної системи [17].

Пшеничне борошно має низький вміст біоактивних сполук, які сприяють зміцненню здоров’я [18]. Тому додавання борошна з батату і гарбуза у хлібопекарську продукцію не лише зменшить використання пшеничного борошна та собівартість виробництва хліба [19], але й покращить поживну цінність і користь для здоров’я готового продукту [20 , 21]. Однак включення нетрадиційного борошна, такого як борошно з батату і гарбуза, у хлібопечення може вплинути на реологічні властивості тіста та якість випікання хліба [22 , 23]. Згідно з Rosales-Juárez et al. [24], якісні характеристики хліба, такі як об'єм виробу, колір хліба, текстурні властивості та смак, значною мірою залежать від якості пшеничного борошна та процесів випікання. Наприклад, клейковина у пшеничному борошні є важливою для в’язкоеластичності тіста та здатності утримувати вуглекислий газ під час бродіння і на початкових етапах випікання [25, 26], що, в свою чергу, визначає об'єм виробу [27] та текстуру м’якуша хліба [28]. Попередні дослідження показали, що процес випікання впливає на якісні показники свіжовипеченого хліба [29] та післявипічні зміни якісних параметрів продукту [30]. Зокрема, післявипічні зміни в хлібі, такі як втрата або збільшення вмісту вологи і зміни текстури, можуть негативно вплинути на сприйняття продукту споживачами. Крім того, черствіння або затвердіння м’якуша хліба є ключовим фактором, який сприяє економічним втратам для виробників хліба та споживачів [31]. Тому процеси випікання, що мінімізують черствіння або втрати

хліба, будуть великою зацікавленістю як для виробників, так і для споживачів.

Проведено декілька досліджень щодо розробки нових хлібобулочних виробів з використанням інгредієнтів, не виготовлених з пшениці, таких як картопля [32], батат [33], змішане борошно з касави, батату та сорго [34], порошок листя кенафу [35], борошно рисове, соргове та кукурудзяне [36], рисові висівки [37], ферментовані рисові висівки і гарбузове пюре [38], закваска з сорго та порошок з плоду набаг [39], концентрат сироваткового білка та лушпиння подорожника [40]. Проте більшість проведених досліджень зосереджені на впливі включення не пшеничного борошна на якісні характеристики тіста та хліба. Існує обмежена інформація про вплив як пропорцій борошна, так і умов випікання на якісні властивості хліба зі складеного борошна пшениці, батату та гарбуза.

Висновки за розділом

Хліб, як основний харчовий продукт, має багатий історичний контекст і різноманітні методи виробництва, що відображають культурні традиції різних регіонів. Виробництво хліба складається з кількох ключових етапів, починаючи зі змішування інгредієнтів та закінчуючи випіканням. Правильне виконання кожного етапу, особливо змішування, має вирішальне значення для досягнення високої якості готового продукту. Важливо враховувати вплив температури на процес випікання, оскільки різні температурні умови викликають різні фізичні та хімічні зміни в тісті. Охолодження хліба після випікання також є критично важливим для забезпечення його якості та запобігання мікробіологічному псуванню. Зміна вологості та температури під час охолодження визначає текстуру та смакові характеристики хліба, підкреслюючи важливість контролю технологічних процесів на всіх етапах виробництва. Таким чином, технологія виробництва хліба вимагає точності, дисципліни та уважності до деталей, що дозволяє досягти стабільно високої якості продукції.

Пшеничне борошно, багате клейковиною, забезпечує еластичність та розтяжність, необхідні для випічки, але має обмежений вміст біоактивних сполук, які сприяють здоров'ю. На противагу цьому, гарбуз і батат містять значну кількість β-каротину,

вітамінів та мінералів, які можуть підвищити поживну цінність виробів. Дослідження показують, що додавання борошна з батату та гарбуза може зменшити використання пшеничного борошна та покращити поживну цінність хлібобулочних виробів, проте необхідно враховувати вплив на реологічні властивості тіста та якість випікання. Існує недостатньо інформації про оптимальні пропорції сировини та умови випікання, що підкреслює потребу в подальших дослідженнях для розробки продуктів, які поєднують переваги цих різних типів борошна. Метою досліджень є обґрунтування та оптимізація технології випікання пшеничного хліба, збагаченого бататно-гарбузовим борошном, для підвищення його поживної цінності та органолептичних характеристик при збереженні необхідної якості продукту.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Сировина, використана в дослідженні

У якості сировини (рис. 2.1) використано корені батату з помаранчевою м'якоттю (*Ipomoea Batatas L.*); дозрілі гарбузи (*Cucurbita moschata L.*); борошно пшеничне (ТМ «Хуторок»); дріжджі сухі (ТМ «Dr. Oetker»); маргарин вершковий (ТМ «Запорізький», 72,5 %); сіль харчова (ТМ «Хуторок»); цукор-пісок (ТМ «Хуторок»).

Корені батату з помаранчевою м'якоттю (Ipomoea Batatas L.)

Дозрілі гарбузи (*Cucurbita moschata L.*)

Борошно пшеничне

Маргарин вершковий

Цукор-пісок

Сіль

Дріжджі сухі

Рисунок 2.1 – Сировина для проведення досліду

Процедура виготовлення борошна з батату була наступною. Вибирали неушкоджені корені батату, які промивали чистою водою, очищували ножем з нержавіючої сталі та нарізали товщиною 3 мм за допомогою слайсера Ritter E16. Скибочки занурювали у розчин метабісульфіту натрію (0,5 %) на 5 хвилин, після

чого розміщували на перфорованих лотках в один шар і сушили при температурі повітря 60 °C протягом 4 годин у сушарці EZIDRI ULTRA FD1000. Висушені зразки упаковували в поліетиленові пакети високої щільності для подальшої обробки. Висушені скибочки батату перемелювали до розміру частинок борошна 250 мкм, використовуючи лабораторний ультрацентрифужний млин (Retsch ZM 100) з частотою обертів 14 000 об/хв. Борошно охолоджували при кімнатній температурі (23 ± 1 °C) протягом 30 хв, упаковували у поліетиленові пакети високої щільності та зберігали при температурі 4 ± 1 °C для подальшого використання.

Процедура виробництва сушеного продукту з гарбуза була наступною. Плоди гарбуза промивали чистою водою, і шкірку видаляли ножем з нержавіючої сталі. Потім гарбуз розрізали, відокремлюючи волокнисті нитки та насіння від м’якоті. М’якоть нарізали до середньої товщини $3{,}2 \pm 0{,}1$ мм і довжини $10{,}0 \pm 2$ мм. Скибочки гарбуза обробляли в розчині метабісульфіту натрію (0,3 %) протягом 5 хв, після чого зливали воду. Оброблену м'якоть розкладали на лотки в один шар і сушили при температурі 60 °C протягом 5 годин у сушарці EZIDRI ULTRA FD1000. Подрібнення висушених скибочок гарбуза та зберігання борошна здійснювали, так само як і при приготуванні борошна з батату.

2.2 Планування досліджень

Вплив часткової заміни борошна пшениного на борошно з батату та гарбуза, а також різних умов випікання на якісні характеристики композитного тіста та хліба досліджували за допомогою методології поверхні відгуку. Для генерування 27 експериментальних точок дизайну, які складаються з 16 фактичних точок моделі, 5 точок повторення, 5 точок для перевірки відповідності та додаткових центральних повторних точок, використовували I-оптимальний (комбінований) дизайн програми Wolfram Cloud. Нижні та верхні межі суміші борошна складали: борошно пшеничне (40–80 %), борошно з батату (10–50 %) та борошно гарбузове (10–40 %), а температура та час випікання становили відповідно 150–200 °C та 15–

25 хв. Хліб із 100 % борошна пшеничного використовували як контрольний зразок. Досліджуваними змінними відповіді були характеристики тіста на фариграфі, а також показники якості хліба, такі як об'єм хлабини, питомий об'єм, вологість, активність води та текстурний профіль м’якуша.

Рисунок 2.2 – Схема приготування хліба

Експериментальні зразки хліба готували за прямим методом замішування тіста, описаним у стандартному методі [41] з незначними змінами на основі Кіффера та ін. [42]. Рецептура для приготування хліба, заснована на 100 г борошна (з урахуванням 14 % вологості), включала свіжі дріжджі (5,0 %), цукор-пісок (1,0 %), маргарин (1,0 %), сіль (1,5 %) та воду (відповідно до оптимальної водопоглинальної здатності, визначеної фариграфом). Тісто готували за допомогою фариграфа. Час замішування тіста базувався на часі розвитку тіста, виміряному фариграфом для кожної рецептури. Тісто ферментували в розстійній шафі протягом 20 хв при 30 ± 1 °C та відносній вологості 85 %. Ферментоване тісто розділяли на шматки (50 г), округляли вручну та залишали відпочити при кімнатній температурі (23 ± 1 °C) на 3 хв. Відпочиле тісто розкочували, формували та розстоювали ще 30 хв при 30 ± 1 °C і відносній 85 %. Випікання проводили в духовій шафі відповідно до умов для кожної рецептури. Протягом першої хвилини

випікання в духовій шафі подавали пару (100 мл води). Після охолодження щойно випеченого хліба при кімнатній температурі протягом 2 год визначали його якісні показники. Крім того, зразки хліба упаковували у поліетиленові пакети високої щільності та зберігали 24 год в кліматичній камері при температурі 25 °С та відносній вологості 50 %.

2.3 Методика аналізу зразків

Вміст вологи, сирого білка, сирого жиру, сирої клітковини та золи в борошні аналізували за стандартними протоколами Асоціації офіційних аналітичних хіміків [43]. Кожен аналіз проводили в дублікаті.

Загальний вміст доступних вуглеводів визначали методом різниці, як показано нижче:

$$(\%\ \text{вуглеводів}) = 100 - ((\%\ \text{вологи}) + (\%\ \text{білків}) + (\%\ \text{жирів}) + (\%\ \text{клітковини}) + (\%\ \text{золи})) \quad (2.1)$$

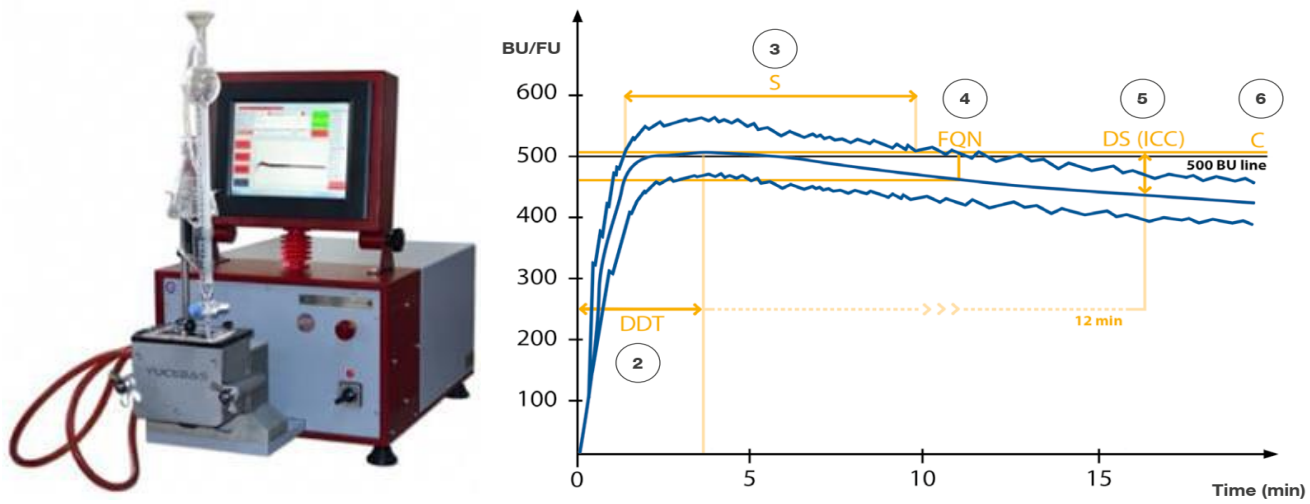
2.3.1 Аналіз реологічних характеристик тіста

Фаринографічний тест проводили для сумішей пшеничного, бататного і гарбузового борошна та для 100 % борошна пшеничного, використовуючи фариограф згідно з методом Американської асоціації хіміків (рис. 2.3). Вимірювані параметри фаринографа включали: оптимальне водопоглинання (%– кількість води, необхідна для центрування кривої фаринографа на рівні 500 одиниць Брабендера, BU); час розвитку тіста (хв, час змішування, необхідний для досягнення максимальної консистенції); стабільність тіста (хв, час, протягом якого тісто зберігає оптимальну консистенцію) та ступінь розм’якшення тіста (BU, зниження оптимальної консистенції тіста через 12 хв). Виконували три повторювані вимірювання.

2.3.2 Вимірювання об’єму та питомого об’єму виробу

Масу (г) кожного виробу вимірювали через 2 год після випікання за

допомогою прецизійних вагів «Центровага» з точністю (±) 0,001 г. Об’єм виробу (см³) визначали методом витіснення ріпаковим насінням згідно зі стандартним методом 10–05.01 AACC [44]. Питомий об’єм обчислювали, як відношення об’єму до маси (см^3/г). Усі вимірювання проводили в триразовому повторенні.



а б

1 – водопоглинальна здатність; 2 – час утворення тіста; 3 – стійкість тіста; 4 – ступінь розрідження; 5 – ступінь розм'якшення; 6 – консистенція

Рисунок 2.3 – Фариограф (а) та приклад фариограми (б)

2.3.3 Аналіз вмісту вологи та водної активності м’якуша

Вміст вологи в м’якуші хліба аналізували за методом AACC для сушіння в повітряній печі 44–15.02, одноетапна процедура [45] з використанням електричної печі. Аналіз водної активності проводили при кімнатній температурі (24 ± 1 °C) за допомогою вимірювача водної активності (Walcom WA-60A). Виконували три повторювані вимірювання.

2.3.4 Аналіз текстурних характеристик м’якуша

Аналіз текстурного профілю (ТПА) свіжоспеченого хліба та зразків, збережених протягом 24 год, проводили за допомогою текстурного аналізатора, який розроблений кафедрою інжинірингу технічних систем ДДАЕУ [46, 47, 48,

49]. Текстурний аналізатор був підключений до комп’ютера, оснащеного програмою для налаштування тесту та обробки даних. Вся скоринка та близько 3 мм країв виробу зрізали гострим ножем із нержавіючої сталі. М’якуш хліба нарізали вручну на шматочки розміром 26 мм × 26 мм × 20 мм по ширині, довжині та висоті відповідно.

Ваги лабораторні Центровага FEH-600 Walcom WA-60A

Рисунок 2.4– Обладнання для проведення досліджень

1 – предметний стіл; 2 – індентор; 3 – блок вимі-рювання зусилля; 4 – рухома частина; 5 – блок вимірювання деформації; 6 – клавіатура керування; 7 – інформаційний екран; 8 – кнопка перезавантаження; 9 – ПЕОМ

Рисунок 2.5 – Аналізатор текстури

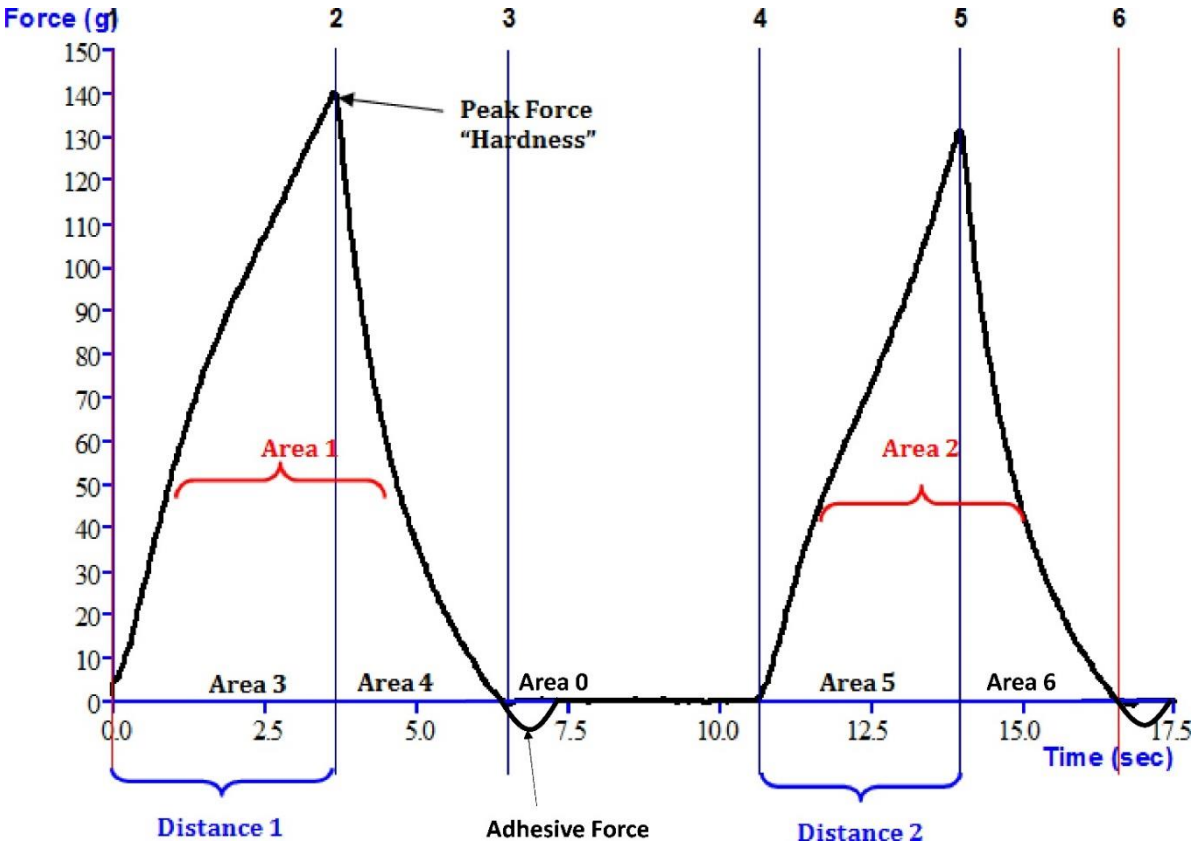


Рисунок 2.6 – Графік текстури

Для кожного шматка виконували двоетапний односпрямований тест на стиснення з використанням датчика навантаження 50 кг і циліндричного алюмінієвого зонда діаметром 25 мм (SMS/P25). Параметри тестування ТПА були: тригерна сила 0,098 Н, деформація 50 %, час витримки між циклами стиснення 1 с, а швидкість до, під час та після тесту становила 1, 2 та 2 мм/с відповідно. Текстурні параметри м'якуша, виміряні за графіком сила-час у ТПА, включали твердість (кг), когезивність (безрозмірна), пружність (безрозмірна), жувальність (кг) та еластичність (безрозмірна). Швидкість черствіння м'якуша після 24 год зберігання розраховували за рівнянням:

$$\text{Швидкість черствіння} = (H_2 - H_1)/H_1, \quad (2.2)$$

де H_1 та H_2 представляють твердість м'якуша (кг) через 2 год після випікання та через 24 год зберігання відповідно.

2.4 Оптимізація технологічних факторів і статистичний аналіз

Чисельна оптимізація суміші борошна, температури та часу випікання для рецептури пшенично-бататно-гарбузового композитного хліба була проведена з використанням модифікованого підходу функції бажаності за допомогою програмного забезпечення Wolfram Cloud. Цей підхід функції бажаності, який використовує математичні методи для перетворення багатовідповідної оптимізації на одновимірну задачу, підходить для одночасної оптимізації багатьох відповідних змінних. Цей метод оптимізації перетворює кожну відповідну змінну (Y_i) на значення бажаності (d_i), де значення d_i варіюються від 0 (несприятливо) до 1 (найбільш сприятливо). Загальне значення бажаності розраховували за рівнянням

$$D = [d_1 \times d_2 \times d_3 \times \ldots \times d_k]^{1/k}, \quad (2.3)$$

де D – загальне значення бажаності, d_1, d_2, $d_3 \ldots d_k$ представляють індивідуальні значення бажаності, а k – кількість відповідних змінних. Так само значення D варіюються від 0 (неприйнятний продукт) до 1 (найбільш прийнятний продукт). Отже, для формування прийнятного продукту значення d_i повинні бути більшими за нуль.

Експериментальні дані аналізували методом відгукових поверхонь за допомогою програмного забезпечення Wolfram Cloud для визначення впливу технологічних факторів (пропорція борошна та умови випікання) на досліджувані властивості тіста та хліба. Комбіновану узагальнену модель і статистику придатності моделі дисперсійного аналізу (ANOVA) використовували для вибору відповідних моделей для опису взаємозв’язку між технологічними факторами та відповідними змінними. Найбільш підходящу модель обирали на основі моделі з найвищими значущими термінами ($p < 0,05$), найвищими коефіцієнтами детермінації (R^2), скоригованим R^2, прогнозованим R^2, значенням адекватної точності та незначущою відсутністю придатності ($p > 0,05$). Нормальність даних перевіряли за допомогою графіку нормальних залишків, дистанції Кука та графіку Бокса-Кокса. У деяких випадках для уточнення моделей із численними

незначущими термінами застосовували регресію з покроковим виключенням за критерієм значення p ($\alpha = 0,1$). Крім того, однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) і парне порівняння Тьюкі були проведені для визначення значущих відмінностей ($p < 0,05$) між якісними показниками тіста та хліба різних рецептур. Крім того, для розрізнення різних рецептур хліба та для виявлення зв'язку між якісними показниками тіста та хліба було виконано аналіз головних компонент (PCA). Дисперсійний аналіз (ANOVA) і PCA проводили за допомогою програмного забезпечення Wolfram Cloud.

Висновки за розділом

Для дослідження використано високоякісну сировину, включаючи корені батату, гарбузи, борошно пшеничне, дріжджі сухі, маргарин, сіль та цукор-пісок. Особливу увагу приділено процесу підготовки бататного та гарбузового борошна, що включав очищення, нарізання, обробку метабісульфітом, сушіння та подрібнення до необхідної фракції. Дослідження проводили з метою визначення впливу часткової заміни борошна пшеничного на борошно з батату та гарбуза на якісні характеристики тіста та хліба. Для оцінки цих параметрів застосовували методологію поверхні відгуку, що дозволило дослідити оптимальні умови випікання та комбінації сировинних компонентів, які забезпечують високі показники якості продукту.

Для аналізу вмісту вологи, білків, жирів, клітковини та золи в борошні застосували стандартизовані методики AOAC. Загальний вміст вуглеводів визначали методом різниці, а реологічні властивості тіста та якісні характеристики хліба оцінювали за допомогою фаринографічного тесту та об'єму виробу. Колір та текстуру хліба вивчали за допомогою датчиків і аналізатора текстур, розробленого кафедрою інжинірингу технічних систем ДДАЕУ. Оптимізацію технологічних параметрів проводили з використанням функції бажаності, а статистичний аналіз – за допомогою ANOVA та PCA в програмному середовищі Wolfram Cloud, що дозволило оцінити вплив рецептури та умов випікання на кінцеві властивості хліба.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Фізико-хімічні характеристики борошна

Фізико-хімічні властивості борошна впливають на властивості тіста та якісні показники кінцевого випеченого хліба. Основний склад для пшеничного, бататного та гарбузового борошна, що використовували у цьому дослідженні, представлені в таблиці 3.1. Як і у дослідженні Чікпаха та ін. [14], борошно пшеничне мало найвищі показники сирого протеїну та вмісту вологи, а також найнижчі значення для сирої клітковини, загальної зольності та вмісту вуглеводів порівняно з бататним і гарбузовим борошном. Гарбузове борошно характеризувалося найвищим вмістом жиру, сирої клітковини та загальної зольності, тоді як бататне борошно мало найбільший вміст вуглеводів. Бататне борошно було більш червонуватим, а гарбузове – більш жовтуватим (табл. 3.1). Виміряні значення кольору для пшеничного, бататного та гарбузового борошна були подібні до значень, наведених у попередніх дослідженнях [16–18]. Для бататного та гарбузового борошна це можна пояснити природними пігментами, такими як каротиноїди, що містяться у бататі та гарбузі.

Таблиця 3.1 – Основний склад пшеничного, бататного та гарбузового борошна

Параметр, %	Пшеничне борошно	Бататне борошно	Гарбузове борошно
Вміст вологи	12,64 ± 0,15	7,33 ± 0,07	8,20 ± 0,10
Сирий протеїн	11,85 ± 0,08	5,26 ± 0,02	5,82 ± 0,05
Сирова клітковина	0,49 ± 0,02	3,58 ± 0,04	4,45 ± 0,08
Жир	1,13 ± 0,01	0,49 ± 0,01	1,57 ± 0,02
Загальна зольність	0,77 ± 0,01	1,17 ± 0,09	2,86 ± 0,07
Вуглеводи	73,12 ± 0,17	82,17 ± 0,22	77,30 ± 0,13

3.2 Реологічні властивості тіста

Реологічний аналіз тіста є критично важливим, оскільки він показує властивості замішування або обробки тіста та також корисний для прогнозування випічки. Пропорції борошна суттєво впливали ($p < 0.05$) на фаринографічні властивості композитного тіста (табл. 3.2). Оптимальне водопоглинання (OWA) і час розвитку тіста (DDT) для тіста з композитного борошна з бататом і гарбузом коливалися від 50,8 до 58,2 % та від 2,6 до 29,2 хв відповідно. Контрольне тісто (100 % пшеничного борошна) мало значно вищі значення оптимального водопоглинання (60.1 ± 0.2 %), але коротший час розвитку тіста (2.1 ± 0.1 хв) у порівнянні з композитним борошном. Оптимальне водопоглинання – це кількість води, необхідна для стабільного формування тіста, а час розвитку тіста показує час замішування, необхідний для стабільного формування тіста, і далі описує швидкість формування клейковини під час замішування тіста. У цьому дослідженні оптимальне водопоглинання зростало, тоді як час розвитку тіста збільшувався з частковою заміною пшеничного борошна на борошно з батату і гарбуза (рис. 3.1a і b). Подібні спостереження були зафіксовані Кунду та ін. [50] і Бультум та ін., коли пшеничне борошно частково замінювалося на гарбузове борошно та рисову оболонку відповідно. Крім того, заміна пшеничного борошна на пшеничну оболонку призводила до збільшення часу розвитку тіста. Зниження оптимального водопоглинання композитного тіста може бути пов'язане з розбавленням клейковини внаслідок часткової заміни пшеничного борошна на борошно без клейковини. Також зменшення клейковини та збільшення взаємодії клейковини з водою можуть сповільнити швидкість формування клейковинного каркасу та, відповідно, подовжити час розвитку тіста. Час стабільності тіста (ST) та ступінь розм'якшення (DOS) композитного борошна коливалися від 5,1 до 50,0 хв та від 9,0 до 138,0 BU відповідно (табл. 3.2).

Значення параметрів якості тіста представлені як середнє ± стандартне відхилення, обчислене на основі трьох повторних вимірювань ($n = 3$), Значення в одному стовпці, які мають різні літери, значно відрізняються ($p < 0,05$).

Таблиця 3.2 – Реологічні властивості тіста з пшеничного, бататного та гарбузового борошна

№	Борошно пшеничне (%)	Борошно з батату (%)	Гарбузове борошно (%)	Оцінка водопоглинання (%)	Тривалість замісу (хв)	Тривалість бродіння (хв)	Об’ ємна щільність сирого тіста (BU)
1	52,5	22,5	25,0	55,3 ± 0,3	11,8 ± 0,3	13,9 ± 0,4	92,8 ± 0,5
2	40,0	50,0	10,0	52,3 ± 0,3	10,5 ± 0,3	34,8 ± 0,3	52,0 ± 0,3
3	61,9	19,8	18,3	56,9 ± 0,3	9,3 ± 0,3	8,6 ± 0,3	119,5 ± 0,7
4	54,6	33,3	12,3	55,8 ± 0,3	9,9 ± 0,3	12,5 ± 0,3	122,0 ± 0,4
5	80,0	10,0	10,0	58,3 ± 0,3	2,7 ± 0,3	7,8 ± 0,3	97,5 ± 0,7
6	40,0	20,0	40,0	50,8 ± 0,3	29,0 ± 0,3	49,7 ± 0,3	9,0 ± 0,3
7	55,3	10,0	34,8	54,0 ± 0,3	16,3 ± 0,3	29,8 ± 0,3	44,8 ± 0,8
8	40,0	50,0	10,0	52,3 ± 0,3	10,8 ± 0,3	34,6 ± 0,3	51,9 ± 0,3
9	40,0	37,9	22,3	53,3 ± 0,3	18,3 ± 0,3	27,8 ± 0,4	60,4 ± 0,4
10	80,0	10,0	10,0	58,3 ± 0,3	2,8 ± 0,3	7,9 ± 0,3	97,6 ± 0,7
11	80,0	10,0	10,0	58,0 ± 0,3	2,6 ± 0,3	7,8 ± 0,3	97,3 ± 0,3
12	40,0	20,0	40,0	51,0 ± 0,3	29,3 ± 0,3	50,0 ± 0,3	9,7 ± 0,4
13	40,0	50,0	10,0	52,0 ± 0,3	10,7 ± 0,3	35,0 ± 0,4	52,3 ± 0,3
14	43,0	17,0	40,0	51,5 ± 0,3	26,6 ± 0,3	46,3 ± 0,3	15,9 ± 0,3
15	64,3	10,0	25,8	56,3 ± 0,3	9,3 ± 0,3	13,4 ± 0,3	78,8 ± 0,3
16	52,5	22,5	25,0	55,3 ± 0,3	14,6 ± 0,3	13,8 ± 0,3	92,5 ± 0,6
17	44,8	33,0	22,3	54,3 ± 0,3	16,8 ± 0,3	21,7 ± 0,3	82,3 ± 0,3
18	40,0	50,0	10,0	52,3 ± 0,3	10,7 ± 0,3	34,8 ± 0,3	51,3 ± 0,3
19	59,9	30,3	10,0	56,5 ± 0,3	8,3 ± 0,3	9,5 ± 0,3	138,0 ± 0,7
20	80,0	10,0	10,0	58,0 ± 0,3	2,9 ± 0,3	7,7 ± 0,3	98,3 ± 0,3
21	40,0	50,0	10,0	52,3 ± 0,3	10,7 ± 0,3	35,3 ± 0,3	51,7 ± 0,5
22	70,5	19,5	10,0	57,7 ± 0,3	5,9 ± 0,3	6,3 ± 0,3	131,0 ± 0,8
23	59,9	30,3	10,0	56,4 ± 0,3	8,4 ± 0,3	9,6 ± 0,3	137,3 ± 0,3
24	45,9	14,3	40,0	51,8 ± 0,3	24,6 ± 0,3	44,5 ± 0,3	18,3 ± 0,3
25	64,3	10,0	25,8	56,3 ± 0,3	9,3 ± 0,3	13,8 ± 0,3	79,4 ± 0,3
26	80,0	10,0	10,0	58,3 ± 0,3	2,6 ± 0,3	7,9 ± 0,3	97,9 ± 0,5
27	49,3	10,8	40,0	52,3 ± 0,3	22,3 ± 0,3	42,7 ± 0,3	19,3 ± 0,4
Конт.	100,0	0,0	0,0	60,3 ± 0,3	2,3 ± 0,3	10,3 ± 0,4	72,5 ± 0,6

Модель	Квадратична	Квадратична	Квадратична	Квадратична
Значення F (модель)	3918,09	12780,63	11586,19	8281,30
Значення F (відсутність відповідності)	0,583	1,480	1,840	1,886
Коефіцієнт детермінації (R^2)	0,9835	0,9868	0,9827	0,8843
Скоригований – R^2	0,9880	0,9815	0,9781	0,9796

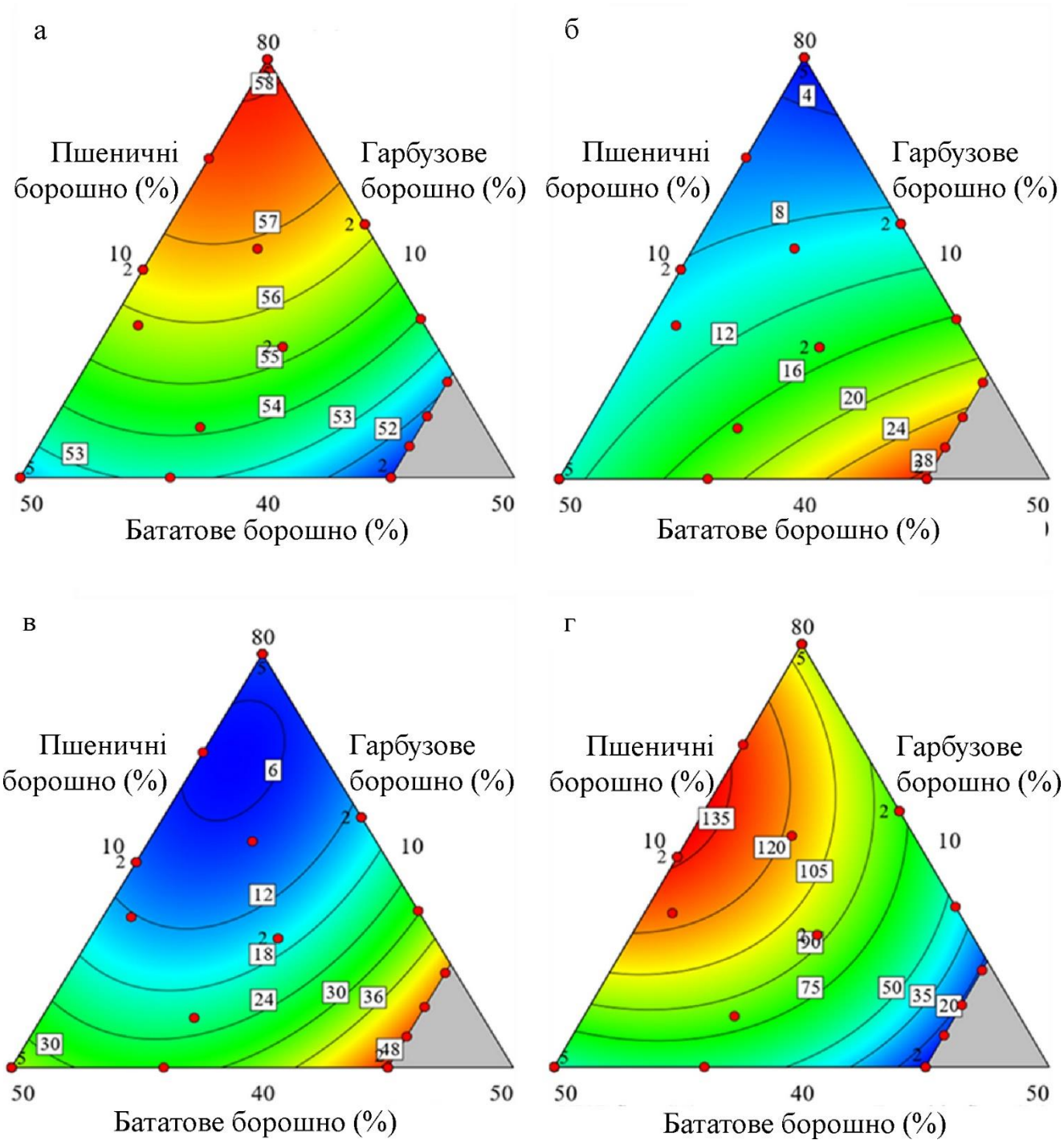


Рисунок 3.1 – Контурні графіки, що показують вплив пропорцій пшеничного, бататного та гарбузового борошна на оптимальне водопоглинання фаринографа (a), час розвитку тіста (b), час стабільності (c), ступінь розм'якшення (d) композитного хлібного тіста

Фаринографічні параметри стабільності тіста та ступеня розм'якшення вказують на міцність та опірність тіста до змішування. Подібно до попередніх результатів, отриманих Турксоєм і Озкаєю [51] та Кунду й ін., значення тривалості бродіння зменшувалися, а об’ємна щільність сирого тіста збільшувалася зі збільшенням пропорцій борошна з батату та гарбуза (рис. 3.1). Подовжена стабільність композитного тіста може бути пов'язана з взаємодією між водою та компонентами борошна, такими як крохмаль і клітковина, що створює більш стабільне та стійке тісто до змішувальної сили.

Параметри тіста фаринографа були адекватно описані квадратною моделлю. Статистика придатності моделі вказала, що модель та терміни (A, B, C, AB, AC і BC) є суттєвими ($P < 0.0001$), значення R^2 і скоригованого R^2 перевищують 0,98, а відсутність відповідності є незначною ($p > 0.05$), як зазначено у табл. 2. квадратна модель для опису значень оптимального водопоглинання та тривалість замісу тіста під впливом пропорцій пшеничного борошна (A), бататного борошна (B) та гарбузового борошна (C) у термінах фактичних налаштувань наведена у рівняннях

$$\mathrm{OWA}\ (\%) = 0.5719\mathrm{A} + 0.3097\mathrm{B} + 0.1240\mathrm{C} + 0.0038\mathrm{AB} + 0.0057\mathrm{AC} + 0.0065\mathrm{BC} \quad (3.1)$$

$$\mathrm{DDT}\ (\mathrm{min}) = 0.0053\mathrm{A} - 0.0855\mathrm{B} + 1.3187\mathrm{C} + 0.0039\mathrm{AB} - 0.0164\mathrm{AC} + 0.0013\mathrm{BC} \quad (3.2)$$

3.3 Фізико-механічні властивості хліба

Табл. 3.3 представляє фізичні властивості контрольних та композитних зразків хліба. Об'єм виробу є важливою якісною характеристикою хліба і вказує на здатність тіста утримувати газ. У даному дослідженні контрольний хліб мав значно ($p < 0,001$) вищий об'єм виробу ($363,78 \pm 1,19$ см³) та специфічний об'єм ($2,86 \pm 0,02$ см³/г) у порівнянні з об'ємом виробу від 166,50 до 349,94 см³ та специфічним об'ємом від 1,34 до 2,62 см³/г для композитних продуктів хліба.

Подібно до висновків, зроблених для пшенично-картопляного парового хліба, пшенично-бататного композитного хліба та гарбузово-пшеничного композиту, об'єм виробу та специфічний об'єм експериментальних зразків хліба

знижувалися зі збільшенням заміщення пшеничного борошна борошном бататним та гарбузовим борошном, як показано на рисунку 3.2.

Таблиця 3.3 – Фізичні характеристики композитного хліба з пшеничного, бататного та гарбузового борошна та результати ANOVA для моделі суміші × процес

№	Борошно пшеничне (%)	Борошно з батату (%)	Гарбузове борошно (%)	Температура випікання (°C)	Час випікання (хв)	Об'єм виробу ($см^3$/100 г борошна)	Питомий об'єм ($см^3$/г)	Вологість крихти (%)	Крихта a_w
1	52,3	22,3	25,0	170	19	232,39±1,29	1,17±0,03	27,27±0,04	0,167±0,002
2	40,0	50,0	10,0	200	17	177,60±1,02	1,44±0,01	29,15±0,03	0,172±0,001
3	61,9	19,1	18,3	190	23	247,31±1,4	1,94±0,02	30,34±0,01	0,190±0,001
4	54,6	33,2	12,2	150	19	246,40±1,07	1,16±0,01	27,25±0,05	0,171±0,001
5	80,0	10,0	10,0	180	17	349,94±1,13	2,60±0,01	30,41±0,06	0,194±0,001
6	40,0	20,0	40,0	150	17	169,60±1,35	1,49±0,03	25,20±0,03	0,160±0,001
7	55,2	10,0	34,1	180	23	200,43±0,98	1,44±0,03	28,29±0,02	0,178±0,003
8	40,0	50,0	10,0	150	25	204,42±1,06	1,38±0,03	25,49±0,05	0,154±0,001
9	40,0	37,9	22,1	200	15	191,00±1,27	1,32±0,01	36,15±0,02	0,192±0,001
10	80,0	10,0	10,0	200	15	310,10±1,64	2,38±0,02	37,33±0,04	0,908±0,001
11	80,0	10,0	10,0	200	23	297,62±1,17	2,30±0,04	34,39±0,02	0,901±0,001
12	40,0	20,0	40,0	180	21	166,30±1,48	1,36±0,03	29,64±0,03	0,166±0,001
13	40,0	50,0	10,0	190	17	179,30±1,14	1,35±0,02	27,47±0,01	0,169±0,001
14	43,0	17,0	40,0	170	21	178,43±1,00	1,39±0,02	27,11±0,02	0,157±0,001
15	64,2	10,0	25,1	160	21	270,10±1,31	2,23±0,03	26,40±0,03	0,179±0,001
16	52,3	22,3	25,0	170	19	232,34±1,29	1,16±0,03	27,33±0,01	0,166±0,002
17	44,1	33,0	22,2	200	19	180,68±1,42	1,43±0,01	35,27±0,01	0,197±0,001
18	40,0	50,0	10,0	150	15	187,31±0,17	1,34±0,02	26,30±0,04	0,164±0,001
19	59,9	30,1	10,0	160	15	268,10±1,34	2,13±0,01	30,01±0,03	0,181±0,001
20	80,0	10,0	10,0	170	21	340,47±1,09	2,62±0,03	26,44±0,03	0,189±0,001
21	40,0	50,0	10,0	200	25	171,30±1,16	1,34±0,03	28,31±0,01	0,172±0,001
22	70,3	19,3	10,0	190	15	299,42±0,15	2,31±0,01	33,16±0,02	0,188±0,003
23	59,9	30,1	10,0	160	25	262,01±1,31	2,20±0,02	26,00±0,02	0,178±0,001
24	45,9	14,1	40,0	160	17	184,30±1,12	1,39±0,02	25,12±0,02	0,153±0,001
25	64,2	10,0	25,1	150	21	265,41±1,37	2,25±0,02	28,40±0,02	0,181±0,001
26	80,0	10,0	10,0	150	15	328,30±1,25	2,48±0,03	36,31±0,02	0,905±0,001
27	49,2	10,1	40,0	180	15	190,42±1,08	1,41±0,01	33,46±0,03	0,172±0,001
Конт.	100,0	0,0	0,0	200	21	363,48±1,19	2,16±0,02	31,20±0,04	0,916±0,003

Поперечна модель (борошняна суміш × умови випічки)	Лінійний × Квадр.	Лінійний × Квадр.	Лінійний × Квадр.	Зменшена лінійна × Квадр.
Модель (значення F)	132,91	1353,14	1198,57	96,38
Недостатнє прилягання (значення F)	92,880	0,321	25,870	10,565
Коефіцієнт детермінації ($R^{2)}$)	0,9861	0,9875	0,9806	0,9884
Скоригований R^2	0,9886	0,9839	0,9790	0,9658

Значення вказують на середнє ± стандартне відхилення, обчислене на основі трьох повторюваних вимірювань (n = 3). Значення в одному стовпці, які мають різні літери, значно відрізняються ($p < 0,05$)

Це явище можна пояснити розведенням білків, що формують клейковину, через часткове заміщення пшеничного борошна борошном з батату та гарбузовим борошном, оскільки формування клейковинного каркасу є вирішальним для в'язкоеластичних властивостей та здатності тіста утримувати газ. Крім того, високий вміст клітковини в борошні з батату та гарбузовому борошні може порушити формування клейковинного каркасу та зруйнувати клітини, що утримують газ, що, в свою чергу, зменшує об'єм виробу.

Вологість та активність води (a_w) є важливими якісними атрибутами хліба через їхній вплив на мікробіологічну активність, текстурні та сенсорні властивості хліба. Вологість крихти для контрольного хліба становила $31,20 \pm 0,04$ %, а для композитного хліба – від 25,20 до 37,33 %. Крихти композитного хліба мали значно ($p < 0,05$) нижчу активність води (0,853–0,908) в порівнянні з контрольним хлібом ($0,916 \pm 0,003$), як представлено в табл. 3.3. Подібно до результатів, отриманих для пшеничного борошна та композитного хліба з пюре батату, спостерігалося зниження активності води в композитному хлібі з пшеничного, бататного та гарбузового борошна, оскільки частки не пшеничного борошна збільшувалися. Це можна пояснити наявністю клітковини та цукру в борошні з батату та гарбузовому борошні, оскільки ці хімічні компоненти можуть зв'язувати воду та зменшувати доступність вільної води в харчовому матеріалі.

Фізичні властивості композитного хліба значно залежали від температури випікання та часу. Якісні властивості хліба залежать від якості пшеничного борошна, інтенсивності нагрівання та тривалості випікання.

Подібно до висновків інших досліджень [52], об'єм виробу та специфічний об'єм збільшуються зі збільшенням температури випікання з 150 до 180 °C (рис. 3.2). Це явище можна пояснити збільшенням розширення газу CO_2 у тісті через підвищення швидкості нагрівання на ранній стадії випікання. Однак, при вищих

температурах випікання (≥ 180 °C) об'єм виробу та специфічний об'єм значно зменшувалися.

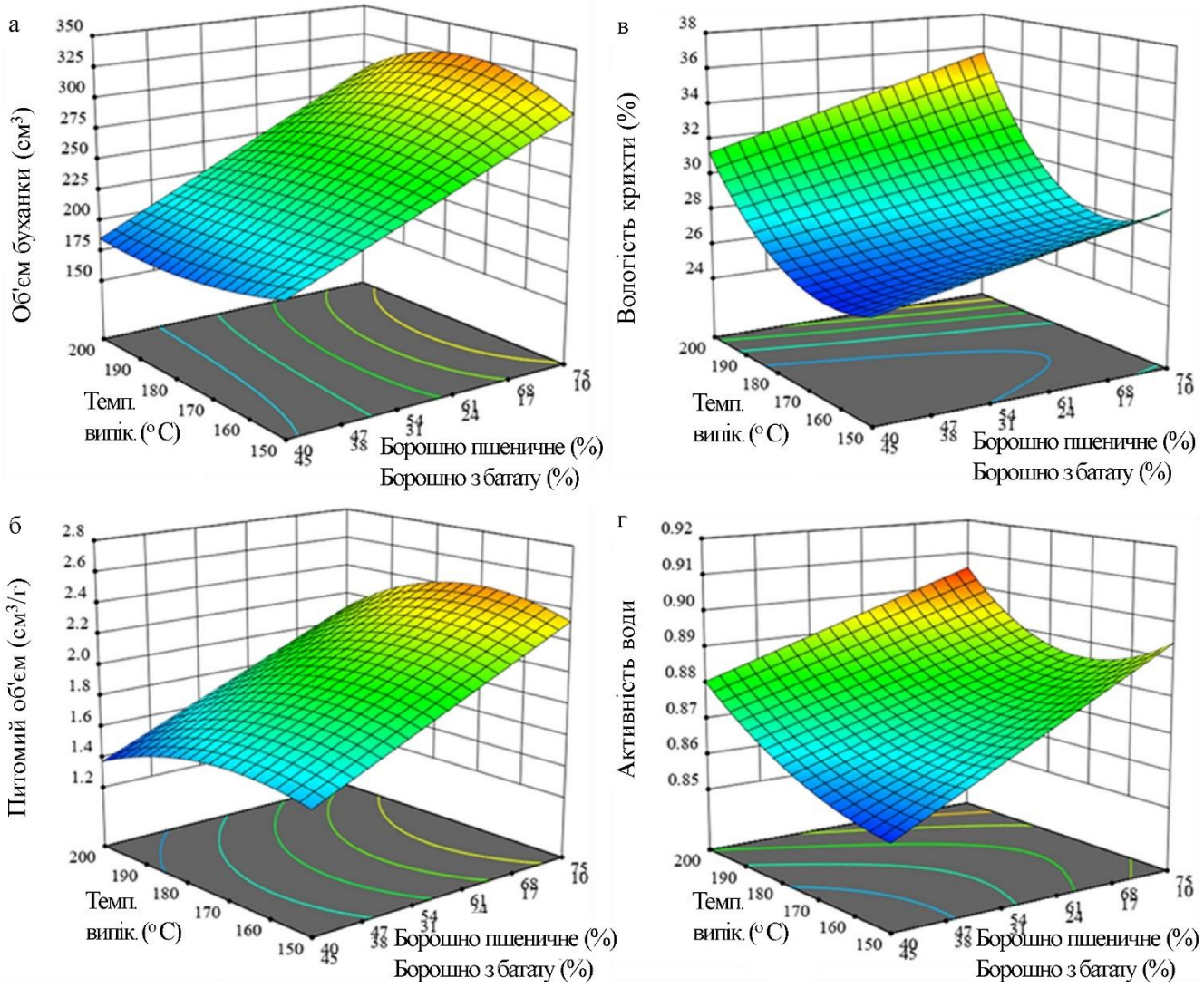


Рисунок 3.2 – Поверхневі графіки, що показують вплив пропорцій пшеничного борошна та борошна з батату, гарбузового борошна (15 %), температури випікання та часу випікання (19 хв) на об'єм виробу (а), специфічний об'єм (б), вологість крихти (в) та активність води (г) композитного хліба

Це можна пояснити раннім виникненням желатинізації крохмалю при вищих температурах випікання, що може знизити розтяжність тіста та призвести до руйнування мембран газових осередків, що, врешті-решт, зменшує об'єм випеченого хліба. Вологість крихти та активність води злегка знижувалися зі

збільшенням температури випікання до 180 °C, після чого утримання вологи та активність води збільшувалися з підвищенням температури випікання (рис. 3.3). Оскільки на вищих температурах випікання може статися рання желатинізація крохмалю та ущільнення скоринки хліба, це може знизити рух вологи від крихти хліба до поверхні через низьку дифузію води через желатинізоване крохмальне середовище. Спостерігалася безперервна тенденція до зниження вологості крихти та активності води при подовженні часу випікання.

Лінійна × квадратична крос-модель для суміші борошна та умов випікання була найадекватнішою моделлю для визначення фізичних якісних атрибутів композитного хліба, що підлягали впливу пропорцій борошна та умов випікання. Статистичні дані моделі наведені в табл. 3.3, а рівняння моделі для опису специфічного об'єму (SV) та вологості крихти (MC) наведені в рівняннях

$$\begin{aligned}\mathrm{SV}\sim\left(\mathrm{cm}^3/\mathrm{g}\right) = &-0.07512\mathrm{A} - 0.043674\mathrm{B} - 0.141352\mathrm{C} + 0.001739\mathrm{AD} + 0.004674\mathrm{AE} \\ &+ 0.000618\mathrm{BD} - 0.000172\mathrm{BE} - 0.000526\mathrm{CD} + 0.021697\mathrm{CE} + 0.00000775\mathrm{ADE} \\ &+ \sim 0.000008\mathrm{BDE} - 0.000104\mathrm{CDE} - 0.00000545\mathrm{AD}^2 + 0.000088\mathrm{AE}^2 - \sim\sim 0.0000022\mathrm{BD}^2 \\ &- 0.000036\mathrm{BE}^2 + 0.00000658\mathrm{CD}^2 - 0.000095\mathrm{CE}^2\end{aligned} \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned}\mathrm{MC}\sim(\backslash\%) = &\, 4.015857\mathrm{A} - 1.267481\mathrm{B} - 0.243906\mathrm{C} - 0.024166\mathrm{AD} - 0.160662\mathrm{AE} \\ &+ 0.011665\mathrm{BD} + 0.049109\mathrm{BE} - 0.042043\mathrm{CD} + 0.368722\mathrm{CE} + 0.000391\mathrm{ADE} \\ &- 0.000031\mathrm{BDE} - 0.001433\mathrm{CDE} + 0.000048\mathrm{AD}^2 + 0.002157\mathrm{AE}^2 - 0.000033\mathrm{BD}^2 \\ &- 0.000993\mathrm{BE}^2 + 0.000222\mathrm{CD}^2 - 0.003108\mathrm{CE}^2\end{aligned} \tag{3.4}$$

3.4 Текстурні властивості м’якуша

Текстурні характеристики є важливими якісними показниками, які використовують для оцінки свіжості хліба та впливають на його сприйняття споживачами. Текстурні властивості м’якуша контрольного та композитного хліба наведено в табл. 3.4. Суміш борошна та умови випікання мали значний вплив ($p < 0,05$) на текстурні характеристики композитної м’якуша хліба. Значення текстурних характеристик композитного хліба варіювали від 1,001 до 3,082 кг для твердості, від 0,688 до 0,823 для когезивності, від 0,781 до 0,913 для пружності, від 0,707 до 1,956 для жувальності та від 0,326 до 0,424 для пружності.

Таблиця 3.4 – Текстурні властивості м’якуша композитного хліба із пшеничного, бататного та гарбузового борошна, що залежать від пропорцій борошна та умов випікання

№	Борошно пшеничне (%)	Борошно з батату (%)	Гарбузове борошно (%)	Темп, випік. (°С)	Час випік. (хв)	Твердість (кг)	Згуртованість	Пружинистість	Жувальність (кг)	Стійкість
1	52,5	22,5	25,0	170	19	2,182 ± 0,002	0,772 ± 0,001	0,837 ± 0,002	1,304 ± 0,003	0,376 ± 0,002
2	40,0	50,0	10,0	200	17	2,206 ± 0,002	0,718 ± 0,001	0,794 ± 0,001	1,258 ± 0,001	0,349 ± 0,002
3	61,5	19,8	18,3	190	23	2,160 ± 0,001	0,766 ± 0,001	0,848 ± 0,001	1,103 ± 0,002	0,373 ± 0,002
4	54,3	33,2	12,2	150	19	2,285 ± 0,003	0,761 ± 0,003	0,865 ± 0,001	1,504 ± 0,003	0,379 ± 0,002
5	80,0	10,0	10,0	180	17	1,560 ± 0,001	0,816 ± 0,001	0,895 ± 0,001	1,131 ± 0,002	0,115 ± 0,002
6	40,0	20,0	40,0	150	17	2,229 ± 0,001	0,760 ± 0,001	0,824 ± 0,001	1,396 ± 0,002	0,347 ± 0,002
7	55,2	10,0	34,8	180	23	3,082 ± 0,004	0,772 ± 0,002	0,822 ± 0,002	1,556 ± 0,001	0,376 ± 0,001
8	40,0	50,0	10,0	150	25	2,783 ± 0,003	0,707 ± 0,004	0,829 ± 0,001	1,331 ± 0,004	0,358 ± 0,002
9	40,0	37,5	22,1	200	15	2,155 ± 0,003	0,703 ± 0,003	0,814 ± 0,001	1,233 ± 0,002	0,344 ± 0,003
10	80,0	10,0	10,0	200	15	1,053 ± 0,001	0,809 ± 0,002	0,891 ± 0,002	0,759 ± 0,003	0,101 ± 0,001
11	80,0	10,0	10,0	200	23	1,076 ± 0,002	0,774 ± 0,001	0,889 ± 0,003	0,740 ± 0,001	0,388 ± 0,001
12	40,0	20,0	40,0	180	21	2,730 ± 0,001	0,746 ± 0,001	0,789 ± 0,002	1,307 ± 0,003	0,341 ± 0,001
13	40,0	50,0	10,0	190	17	2,307 ± 0,001	0,739 ± 0,004	0,815 ± 0,002	1,570 ± 0,001	0,354 ± 0,002
14	43,0	17,0	40,0	170	21	2,581 ± 0,001	0,752 ± 0,003	0,796 ± 0,001	1,784 ± 0,001	0,363 ± 0,004
15	64,2	10,0	25,8	160	21	2,383 ± 0,003	0,790 ± 0,001	0,859 ± 0,002	1,317 ± 0,002	0,387 ± 0,001
16	52,5	22,5	25,0	170	19	2,183 ± 0,002	0,771 ± 0,001	0,837 ± 0,002	1,302 ± 0,003	0,374 ± 0,002
17	44,8	33,0	22,2	200	19	1,847 ± 0,003	0,720 ± 0,003	0,789 ± 0,001	1,049 ± 0,001	0,338 ± 0,001
18	40,0	50,0	10,0	150	15	2,555 ± 0,002	0,734 ± 0,001	0,866 ± 0,001	1,324 ± 0,003	0,367 ± 0,003
19	59,5	30,1	10,0	160	15	2,071 ± 0,001	0,784 ± 0,001	0,883 ± 0,003	1,134 ± 0,002	0,385 ± 0,002
20	80,0	10,0	10,0	170	21	2,093 ± 0,003	0,815 ± 0,001	0,513 ± 0,004	1,557 ± 0,002	0,124 ± 0,002

№	Борошно пшеничне (%)	Борошно з батату (%)	Гарбузове борошно (%)	Темп, випік. (°С)	Час випік. (хв)	Твердість (кг)	Згуртованість	Пружинистість	Жувальність (кг)	Стійкість
21	40,0	50,0	10,0	200	25	2,218 ± 0,003	0,388 ± 0,001	0,781 ± 0,001	1,192 ± 0,001	0,326 ± 0,002
22	70,5	19,5	10,0	190	15	1,826 ± 0,001	0,800 ± 0,002	0,874 ± 0,001	1,277 ± 0,001	0,390 ± 0,002
23	59,5	30,1	10,0	160	25	2,353 ± 0,001	0,768 ± 0,001	0,860 ± 0,003	1,554 ± 0,001	0,373 ± 0,004
24	45,5	14,1	40,0	160	17	2,362 ± 0,001	0,769 ± 0,001	0,821 ± 0,002	1,191 ± 0,004	0,365 ± 0,001
25	64,2	10,0	25,8	150	21	1,573 ± 0,001	0,791 ± 0,001	0,866 ± 0,002	1,352 ± 0,001	0,393 ± 0,002
26	80,0	10,0	10,0	150	15	1,001 ± 0,001	0,823 ± 0,001	0,507 ± 0,002	0,747 ± 0,003	0,112 ± 0,003
27	49,2	10,8	40,0	180	15	2,348 ± 0,002	0,752 ± 0,001	0,828 ± 0,002	1,349 ± 0,002	0,370 ± 0,004
Конт.	100,0	0,0	0,0	200	21	0,573 ± 0,004	0,831 ± 0,003	0,567 ± 0,001	0,160 ± 0,003	0,149 ± 0,002
Р-значення						0,0000	0,000	0,0000	0,0000	0,000

Значення вказують на середнє ± стандартне відхилення (n = 3), Значення в одному стовпці, які мають різні літери, значно відрізняються ($p < 0,05$).

Загалом м’якуш контрольного хліба була більш когезивною (0,831 ± 0,003) і пружною (0,967 ± 0,001), ніж у композитного хліба. Проте значення твердості та жувальності у композитного хліба були значно вищими, ніж у контрольного (табл. 3.4). Вплив пропорцій борошна, температури та тривалості випікання проілюстровано за допомогою графіків поверхні відгуку (рис. 3.3). Помітно, що збільшення заміщення борошно з батату і гарбузове борошно збільшувало твердість і жувальність м’якуша, але знижувало когезивність, пружність і відновлюваність композитної м’якуша хліба (рис. 3.3). Це явище можна пояснити розбавленням клейковини, що зменшує утворення клейковинного каркасу та газових порожнин, і, як наслідок, зменшує кількість газу, що утримується в структурі м’якуша, мінімізує створення м'якої порожнистої структури в м’якуша та збільшує твердість і зменшує пружність м’якуша. Крім того, велика кількість клітковини в бататному і гарбузовому борошні може порушувати взаємодію між крохмалем і клейковиною, що призводить до зниження когезивності м’якуша. Результати дослідження узгоджуються з висновками Лі та ін. [53], які спостерігали зниження пружності, когезивності та відновлюваності та збільшення твердості та жувальності на прикладі збагаченого висівками пшеничного хліба на пару. Так само заміна пшеничного борошна на картопляне підвищувала твердість і жувальність м’якуша, а відновлюваність знижувалася.

Температура і тривалість випікання мають значний ($p < 0,05$) вплив на текстурні властивості композитного хліба (рис. 3.3). Переважно підвищення температури випікання з 150 до 170 °C викликало збільшення твердості та жувальності м’якуша, тоді як вищі температури випікання (> 170 °C) знижували твердість і жувальність кінцевого хліба (рис. 3.3). Це можна пояснити зменшенням вологості м’якуша при підвищенні температури випікання з 150 до 180 °C і подальшим збільшенням вологості м’якуша при вищих температурах випікання (≥ 180 °C).

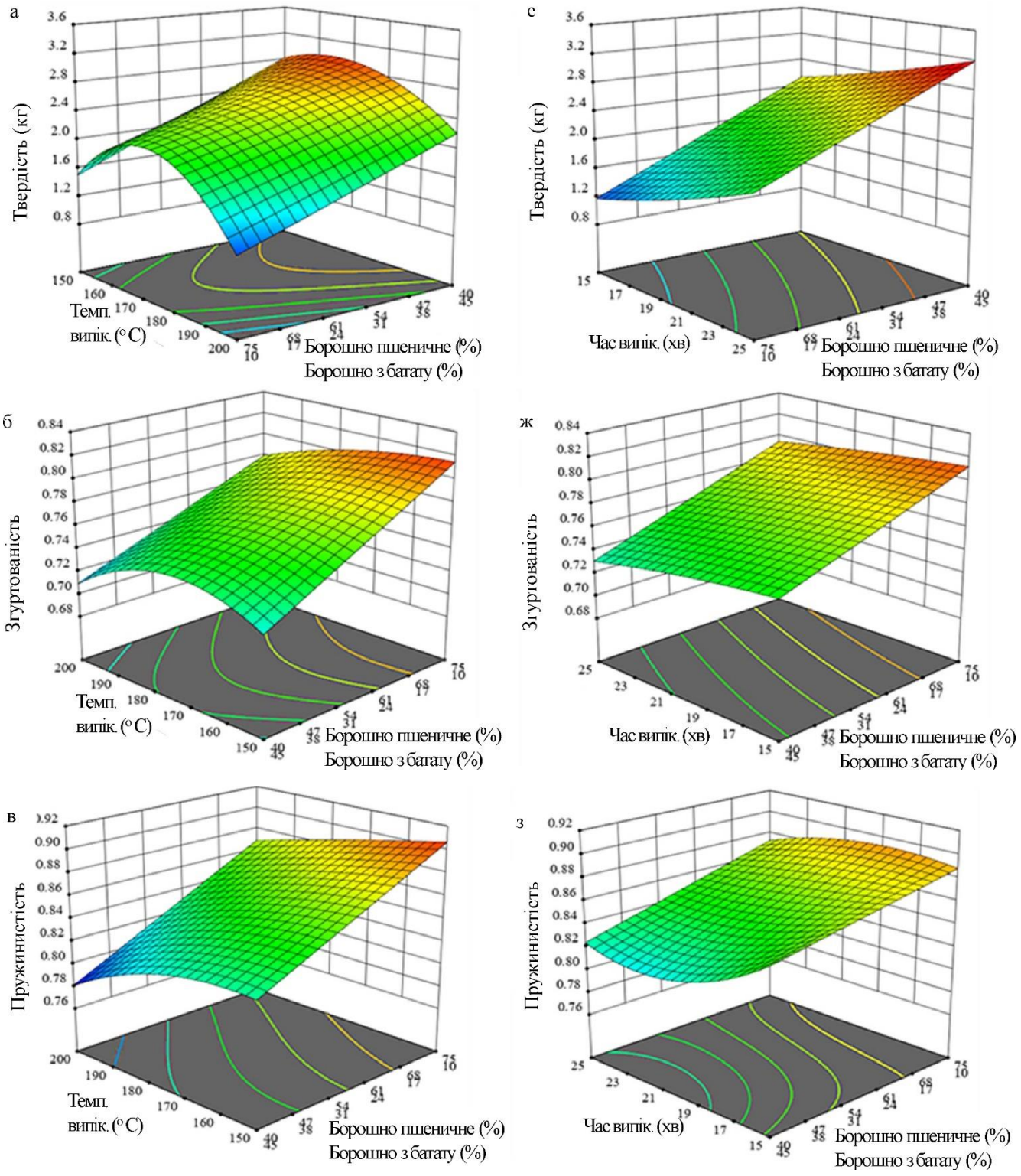


Рисунок 3.3 – Графіки поверхні відгуку, що показують вплив пропорції пшеничного та бататного борошна, гарбузового борошна (15 %) та температури випікання на твердість (а), згуртованість (б), пружність (в), жувальність (г) та відновлюваність (д), а також вплив тривалості випікання на твердість м’якуша (е), згуртованість (ж), пружність (з), жувальність (і) та відновлюваність (к) композитного хліба

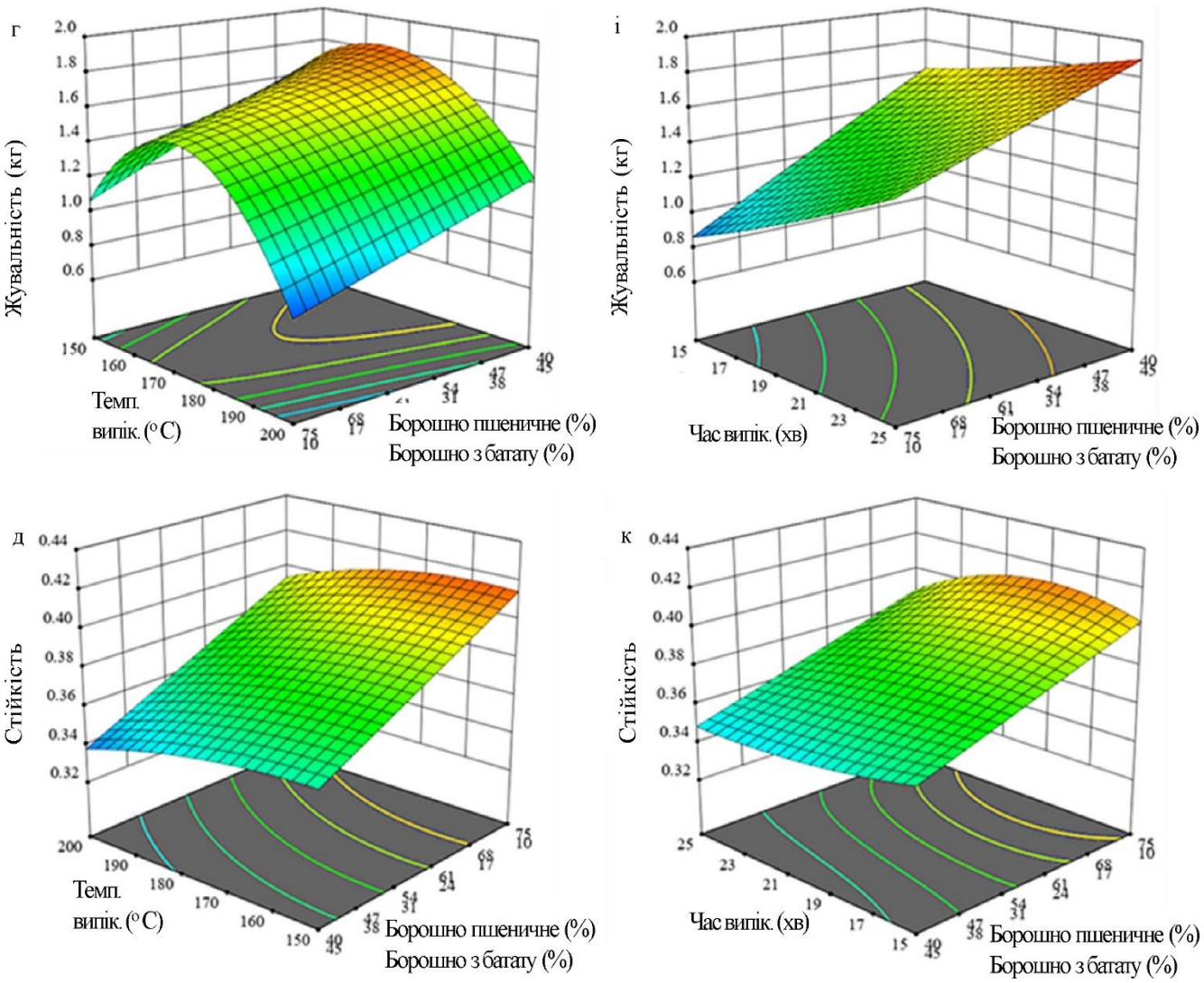


Рисунок 3.3 – Графіки поверхні відгуку, що показують вплив пропорції пшеничного та бататного борошна, гарбузового борошна (15 %) та температури випікання на твердість (а), згуртованість (б), пружність (в), жувальність (г) та відновлюваність (д), а також вплив тривалості випікання на твердість м’якуша (е), згуртованість (ж), пружність (з), жувальність (і) та відновлюваність (к) композитного хліба (продовження)

Крім того, спостерігалися тенденції до зниження когезивності, пружності та відновлюваності м’якуша при підвищенні температури випікання (рис. 3.3). Збільшення тривалості випікання також призвело до значного підвищення твердості та жувальності м’якуша (рис. 3.3) та зниження когезивності, пружності й відновлюваності композитного хліба (рис. 3.3). Це може бути спричинено

підвищеними втратами вологи з м’якуша через триваліше перебування під впливом тепла. Результати поточного дослідження узгоджуються з висновками Шен та ін. [54], які повідомили, що вищі температури випікання зменшували твердість м’якуша, тоді як тривале випікання збільшувало твердість м’якушки. Текстурні характеристики сформованої композитної м’якуша хліба були адекватно описані лінійною × квадратичною крос-моделлю, наведеною в рівнянні

$$Y = \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_4 AD + \beta_5 AE + \beta_6 BD + \beta_7 BE + \beta_8 CD + \beta_9 CE + \beta_{10} ADE + \beta_{11} BDE + \beta_{12} CDE + \beta_{13} AD^2 + \beta_{14} AE^2 + \beta_{15} BD^2 + \beta_{16} BE^2 + \beta_{17} CD^2 + \beta_{18} CE^2 \quad (3.5)$$

де Y – це текстурний параметр, A, B і C – рівні пшеничного, бататного і гарбузового борошна у суміші, відповідно, D та E – температура та час випікання, β_1, β_2, $\beta_3 \ldots \beta_{18}$ представляють регресійні коефіцієнти членів моделі.

Таблиця 3.5 – Регресійні коефіцієнти крос-моделі (лінійна × квадратична) та статистика відповідності для прогнозування текстурних властивостей м’якуша хліба у фактичних умовах виробничих факторів

Умови моделі	Твердість	Згуртованість	Пружинистість	Жувальність	Стійкість
A	−0,5836001	0,00294535	0,01216257	−0,4496320	−0,00224923
B	0,1293523	−0,02265566	−0,00506028	0,053513	0,00953264
C	0,0404827	0,03066494	0,03146016	0,1885075	−0,00913456
AD	0,0053341	0,00002320	−0,00012884	0,0044653	0,00002355
AE	0,0103324	0,00043400	0,00083971	0,0085415	0,00054966
BD	−0,0027581	0,00032420	0,00036078	−0,0005618	−0,00006589
BE	0,0073952	0,00011274	−0,00137132	0,0044027	0,00006235
CD	0,0044925	-0,00005605	−0,00008375	0,0014114	0,00027584
CE	−0,043115	−0,00186788	−0,00198239	−0,0325646	−0,00136759
ADE	−0,000004	−0,00000247	−0,00000098	−0,0002104	−0,00000132
BDE	0,0000148	−0,00000047	–	0,0000355	−0,00000152
CDE	−0,0000439	0,00000889	0,00000802	−0,0000504	–
AD^2	−0,0000260	0,00000003	0,00000067	−0,0000219	−0,00000015
AE^2	-0,0002548	−0,00000121	−0,00001639	-0,0001384	−0,00001478
BD^2	0,0000038	−0,00000080	−0,00000071	0,0000006	0,00000014
BE^2	−0,0002322	−0,00000268	0,00002463	−0,0001623	–
CD^2	−0,0000201	−0,00000029	–	−0,0000024	−0,00000069
CE^2	0,0015835	0,00000437	0,00002574	0,0010632	0,00003568*

Продовження табл. 3.5

Умови моделі	Твердість	Згуртованість	Пружинистість	Жувальність	Стійкість
Значення F (модель)	213,79	650,85	227,59	165,54	59,58
Значення F (відсутність відповідності)	4,950	6,622	6,514	9,610	9,21
P^2	0,9875	0,9977	0,9265	0,9268	0,9278
Скоригований R^2	0,9928	0,9934	0,9217	0,9208	0,9212
Прогноз R^2	0,9319	0,9645	0,9269	0,9113	0,8612
Достатня точність	56,71	94,31	48,83	51,92	29,40
C.V %	2,03	0,13	0,32	2,17	1,21

де A, B, C – пшеничне, бататове і гарбузове борошно відповідно, D – температура випікання, E – час випікання, коефіцієнт детермінації (R^2), C,V – коефіцієнт дисперсії, $p < 0,05$.

Табл. 3.5 показує регресійні коефіцієнти членів моделі та статистику відповідності для прогнозування значень твердості, згуртованості, пружності, жувальності та відновлюваності продуктів із хліба залежно від виробничих факторів у фактичних умовах. Розроблені моделі та значна кількість членів моделі є значущими ($p < 0,05$). Статистика відповідності моделей для всіх текстурних параметрів показала високі значення R^2 та скоригованого R^2 (0,9812–0,9987), прогнозованого R^2 (0,8813–9695), адекватної точності (29,20–94,61) та нижчого коефіцієнта варіації (0,23–2,07). Високі R^2 та адекватна точність (> 4) свідчать про високий рівень точності розроблених моделей. Отже, встановлені моделі можуть бути корисними для належного прогнозування текстурних характеристик композитного хліба із пшеничного, бататного і гарбузового борошна під впливом співвідношення борошна, температури та часу випікання.

3.5 Вплив факторів обробки на черствіння хліба

Зміни в хлібі, такі як затвердіння м'якуша під час зберігання, можуть впливати на сприйняття продукту споживачем. Поведінка з черствінням м'якуша хлібних зразків після 24 годин зберігання, яка залежить від суміші борошна та умов

випікання, показана на рис. 3.4. Швидкість черствіння м'якуша варіювала від 0,10 до 1,28 для композитного хліба та склала 1,56 ± 0,054 для контрольного зразка (рис. 3.4). При фіксованій температурі та часі випікання швидкість черствіння м'якуша знижувалася зі збільшенням додавання борошна бататного та гарбузового борошна у рецептуру хліба (рис. 3.4). Основними причинами черствіння в хлібі є ретроградація амілопектину, взаємодія клейковини та крохмалю та міграція вологи від м'якуша до скоринки в скоринці. Тому зниження швидкості черствіння м'якуша хліба зі збільшенням пропорцій неконвенційного борошна можна пояснити більш високим вмістом харчових волокон та меншою здатністю до ретроградації крохмалю у борошні з батату та гарбузовому крохмалі. Крім того, графіки відповідних поверхонь показали лінійну залежність між швидкістю черствіння хліба та умовами випікання (рис. 3.4). Чим вища температура та час випікання, тим більше черствіння м'якуша під час зберігання. Переважно випікання за високих температур протягом тривалого часу утворює товсту та висушену скоринку, що сприяє руху вологи від м'якуша до скоринки під час зберігання та збільшує твердість м'якуша.

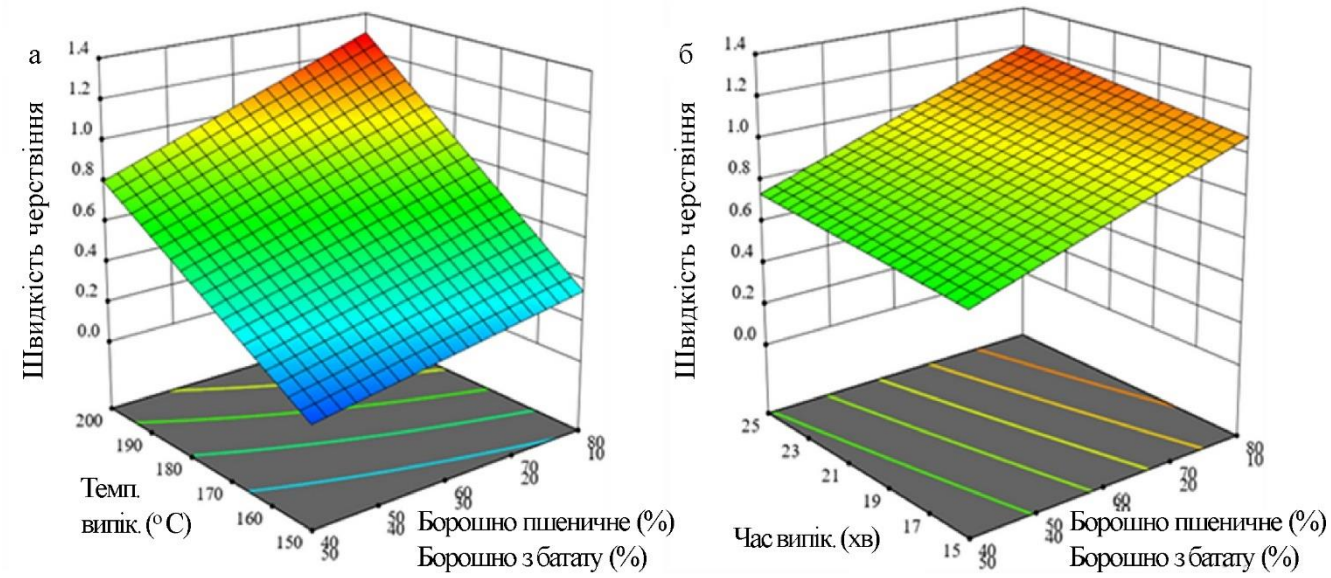


Рисунок 3.4 – Графіки відповідних поверхонь, що показують вплив температури випікання (б) і часу випікання (в) на швидкість черствіння композитного хліба. Дані представлені як середні значення трьох повторних вимірювань

Вертикальні лінії помилок відображають стандартне відхилення. Значення, позначені різними малими літерами, значно відрізняються між собою ($p < 0,05$).

3.6 Оптимізація факторів обробки

Метою оптимізації було максимізувати поглинання води тістом, об'єм хлібини, питомий об'єм, когезію, пружність та стійкість м'якуша, а також мінімізувати твердість, жувальність та черствіння. Оптимізація також була спрямована на досягнення цільових значень вмісту вологи м'якуша. Крім того, через негативний вплив надмірно високих температур і тривалого часу випікання на якісні характеристики композитного хліба, метою було мінімізувати температуру випікання при збереженні часу випікання в межах проєктних значень, оскільки зменшення обох умов обробки може мати негативний вплив на продукт. Оптимальна рецептура для композитного хліба склала 78,5 % пшеничного борошна, 11,5 % борошна з батату, 10,0 % гарбузового борошна, температура випікання 160 °C і час випікання 20 хвилин (табл. 3.6). Це рішення для оптимізації мало глобальне значення бажаності 0,76. Оптимальні фактори обробки та порівняння між характеристиками якості оптимальної рецептури композитного хліба з пшенично-бататно-гарбузового борошна та контрольними зразками хліба представлені в табл. 3.6. За результатами, тісто з оптимізованою рецептурою композитного борошна мало дещо нижче водопоглинання та вищі значення час розвитку тіста у порівнянні з контролем. Крім того, контрольний зразок хліба показав вищі значення для питомого об'єму, м'якуша, когезії, пружності, жувальності та стійкості, але мав нижчі значення для твердості у порівнянні з оптимізованим зразком хліба з пшенично-бататно-гарбузового борошна (табл. 3.6).

Для підвищення поживної цінності хліба в рецептуру композитної суміші були включені цільнозернове борошно, що збагатили хліб харчовими волокнами, вітамінами та мінералами, які сприятливо впливають на здоров'я споживачів. При цьому додавання цих інгредієнтів не погіршило смакові характеристики продукту завдяки ретельно підібраному співвідношенню компонентів.

Таблиця 3.6 – Критерії оптимізації та передбачувані значення властивостей тіста та якості хліба для оптимізованої формули композитного хліба

Фактор/Відповідь	Мета оптимізації	Нижній рівень	Верхній рівень	Цільове значення	Значення	Значення бажаності (d_i)	Оптимальне значення	Контрольна вибірка хліба
Борошно пшеничне (%)	Тримайте в зоні досяжності	40	80		–	1,0	78,5	100
Борошно з батату (%)	Тримайте в зоні досяжності	10	50		–	1,0	11,5	0,0
Гарбузове борошно (%)	Тримайте в зоні досяжності	10	40		–	1,0	10,0	0,0
Температура випікання (°C)	Мінімізувати	150	200		5	1,0	160,0	200
Час випікання (хв)	Тримайте в зоні досяжності	15	25		–	1,0	20,0	21
OWA (%)	Максимізувати	50,80	58,21		5	0,99	$58,10^{А}$	60,30
DDT (хв)	Мінімізувати	2,50	29,20		5	0,97	$3,30^{б}$	2,10
LV ($см^3$)	Максимізувати	166,53	349,94		5	0,88	$331,50^{а}$	363,78
SV ($см^3/г$)	Максимізувати	1,34	2,52		5	0,93	$2,54^{А}$	2,86
Крихта MC (%)	Ціль	25,20	37,33	31,26	5	0,86	$27,23^{А}$	31,20
Крихта a_w	Мінімізувати	0,853	0,908		5	0,30	$0,890^{А}$	0,916
Твердість (кг)	Мінімізувати	1,010	3,082		5	0,57	$1,936^{Б}$	0,573
Згуртованість	Максимізувати	0,588	0,823		5	0,96	$0,818^{А}$	0,831
Пружинистість	Максимізувати	0,781	0,913		5	0,97	$0,912^{А}$	0,967
Жувальність (кг)	Мінімізувати	0,707	1,956		5	0,42	$1,447^{Б}$	0,460
Стійкість	Максимізувати	0,326	0,424		5	0,96	$0,422^{А}$	0,449
Глобальна бажаність (*D*)						0,76		

Атрибути якості тіста і хліба оптимального рецептури і контролю з різними надрядковими літерами істотно відрізняються ($p < 0,05$), OWA – оптимальне водопоглинання, DDT – час формування тіста, LV – об'єм виробу, SV – питомий об'єм, MC – вміст вологи

Висновки за розділом

Характеристики тіста та хліба, що залежать від заміни пшеничного борошна на борошно з батату та гарбуза і умов випікання, були успішно вивчені та оптимізовані за допомогою методу поверхонь відгуку. Додавання борошна з батату та гарбуза значно знизило оптимальне водопоглинання тіста, об'ємний вихід хліба, показники активності води м'якуша, когезивність, пружність, відновлюваність і швидкість черствіння, тоді як час розвитку тіста, твердість та жувальність м'якуша зросли. Крім того, об'єм хліба та його питомий об'єм композитного хліба значно погіршилися, а вологість м'якуша зросла при підвищенні температури випікання понад 180 °C.

Включення борошна з батату та гарбуза у рецептуру хліба зменшувало швидкість черствіння композитного хліба під час зберігання. З іншого боку, більш високі температури випікання (≥190 °C) та триваліший час випікання (≥21 хв) підвищували швидкість черствіння м'якуша у збереженому хлібі. Оптимізована рецептура композитного хліба включала 78,5 % борошна пшеничного, 11,5 % борошна з батату, 10,0 % борошна гарбузового, і умови випікання при температурі 160 °C протягом 20 хв. Отримані в цьому дослідженні результати можуть бути корисними для хлібопекарської галузі у виробництві функціональних хлібобулочних виробів.

Проте існують деякі обмеження щодо промислового застосування борошна з батату та гарбуза, такі як комерційна доступність цих видів борошна, стабільність біоактивних сполук, таких як каротиноїди, під час виробництва та зберігання борошна, а також деградація каротиноїдів у процесі випікання та зберігання хліба. Крім того, для промислового застосування борошна з батату та гарбуза у випіканні хліба може знадобитися модифікація існуючих процедур хлібопекарського виробництва. Рекомендується, щоб майбутні дослідження зосередилися на оцінці стабільності біоактивних сполук оптимізованого композитного хліба з пшенично-бататно-гарбузового борошна під час випікання та зберігання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В умовах хлібопекарського виробництва працівники виконують операції, пов'язані з приготуванням тіста та випіканням хліба, що включають кілька етапів: заміс тіста, його формування, ферментація та випічка.

У процесі хлібопечення виділяють такі основні небезпечні та шкідливі фактори:

1. Температурний фактор: високі температури у пекарнях можуть досягати +40–50 °C, що створює ризик теплового стресу для працівників.
2. Пилове забруднення: у процесі зважування та замішування борошна утворюється борошняний пил, який може спричиняти алергічні реакції, астму та інші респіраторні захворювання.
3. Механічні ризики: при експлуатації обладнання (тістоміси, формувальні та роздільні машини) виникає ризик травмування при недотриманні заходів безпеки.
4. Хімічні фактори: у деяких випадках використовують харчові добавки, які можуть містити хімічні речовини, потенційно небезпечні при постійному контакті.
5. Шум і вібрація: робота технологічного обладнання створює високий рівень шуму та вібрацій, що можуть негативно впливати на нервову систему, слух та загальне самопочуття працівників.
6. Фізичні навантаження: процес випічки передбачає підняття важких лотків з тістом, що створює ризик захворювань опорно-рухового апарату.

Для захисту працівників від негативного впливу небезпечних та шкідливих факторів в хлібопекарні використовують такі методи:

- Вентиляція та охолодження приміщень: для зниження температурного навантаження необхідно облаштувати витяжну та припливну вентиляцію.
- Протидія пиловому забрудненню: встановлення систем аспірації для збору пилу в місцях замішування тіста.
- Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): респіратори для захисту органів дихання від пилу, спеціальний одяг для роботи при високих температурах, захисні рукавички.
- Зниження рівня шуму: звукоізоляція обладнання, використання засобів

індивідуального захисту слуху.

- Організація ергономічного робочого місця: спеціальні підйомники для зменшення фізичного навантаження, навчання правильному підйому важких предметів.

Так як об’єкт наших досліджень стосується хлібопекарських підприємств, нами розроблено картку безпеки праці (рис. 4.1) для оператора лінії з виробництва хлібобулочних виробів.

Хлібопекарське виробництво є важливою галуззю харчової промисловості, але його діяльність супроводжується утворенням різних видів відходів, які можуть мати негативний вплив на навколишнє середовище. Раціональне поводження з відходами дозволяє зменшити екологічне навантаження, сприяти ресурсозбереженню та забезпечити стійкий розвиток виробництва. Основними видами відходів у хлібопекарському виробництві є органічні (залишки борошна, тіста, непридатна до споживання випічка), тверді (упаковка, зношені деталі обладнання), рідкі (стічні води, залишки жирів і олій) та хімічні (залишки миючих і дезінфікуючих засобів).

Принципи поводження з відходами включають мінімізацію їх утворення, сортування, повторне використання, безпечну утилізацію та переробку. Зменшення відходів досягається через оптимізацію технологічних процесів, раціональне використання сировини, впровадження технологій для зменшення втрат борошна і тіста. Сортування передбачає розподіл органічних, твердих і небезпечних відходів, використання органічних залишків для кормів чи компостування, переробку упаковки. Рідкі відходи, зокрема стічні води, підлягають очищенню перед скиданням, а небезпечні хімічні відходи передаються спеціалізованим організаціям.

Для зменшення екологічного впливу впроваджуються енергоефективне обладнання, біорозкладні матеріали для упаковки, а також проводиться навчання працівників правильного поводження з відходами. Відповідальне управління відходами сприяє зменшенню забруднення ґрунтів, води та повітря, а також створює умови для перетворення відходів з проблеми на ресурс. Таким чином, раціональна політика поводження з відходами у хлібопекарській галузі дозволяє не лише мінімізувати вплив на довкілля, а й сприяти сталому розвитку виробництва.

<table>
<tr>
<td>1. Загальна інформація
1. Місце роботи – лінія з виробництва хлібобулочних виробів.
2. Вид робіт – виробництво хліба.
3. Посада – оператор лінії.
4. Тривалість робочого часу – 2 зміни (07:00–18:30; 19:00–06:30).
5. Проходження медогляду – 1 раз на рік.
6. Проходження вторинного інструктажу з охорони праці – 1 раз на 6 місяців.
7. Термін дії картки: до 01.12.2029р.</td>
<td>2. Забезпечення одягом та засобами індивідуального захисту
1. Головний убір – 1 раз на рік.
2. Взуття шкіряне жаростійке – 1 раз на 6 місяців.
3. Нарукавники бавовняні – 1 раз на 3 місяці.
4. Рукавиці трикотажні, навушники протишумові, окуляри захисні – до зносу.</td>
</tr>
<tr>
<td>3. Вимоги перед початком роботи
1. До роботи допускають осіб, які досягли 18-річного віку, пройшли медичне обстеження та не мають медичних протипоказань, вступний інструктаж, спеціальне навчання.
2. Робітник повинен одягнути спецодяг, підготувати робочу зону.
3. Перевірити роботу штучної вентиляції, справність та наявність захисних огороджень приводів робочих органів.
4. Перед запуском обладнання перевірити, що нікому не загрожує небезпека від рухомих частин і механізмів.
5. Перевірити роботу обладнання на холостому ходу.
6. Про виявленні порушення і недоліків доповісти безпосередньому керівнику і до їх усунення до роботи не приступати.</td>
<td>4. Вимоги під час роботи
1. Робітнику дозволяється виконувати тільки ту роботу, за якою пройдено навчання, інструктаж з охорони праці, до якої допущений особою, відповідальною за безпечне проведення осіб
2. Необхідно утримувати своє робоче місце у належній чистоті, своєчасно прибирати з підлоги розсипане борошно, тощо.
3. Необхідно застосовувати засоби захисту рук під час роботи з гарячими поверхнями.
4. Можна використовувати тільки справне устаткування, інструмент, пристосування.
5. Не дозволяється доручати свою роботу іншим особам, які не пройшли відповідне навчання та інструктаж.</td>
</tr>
<tr>
<td>5. Вимоги після закінчення роботи
1. Привести в порядок робоче місце, інструменти та пристосування прибрати у відведене місце.
2. Зняти і здати на збереження спецодяг і засоби індивідуального захисту.
3. Виконати правила особистої гігієни.
4. Про виявлені порушення і недоліки під час проведення робіт доповісти безпосередньому керівнику і змінному працівнику.</td>
<td>6. Вимоги в надзвичайних ситуаціях
1. Негайно припинити всі роботи.
2. Вимкнути все обладнання;
3. Доповісти керівнику про виникнення надзвичайної ситуації.</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Контакти служб екстреної допомоги</td>
</tr>
<tr>
<td>Внутрішні службові номери:
Майстер відділення: 000-00-00
Служба охорони праці:
000-00-00 – головний інженер,
000-00-00 – медичний кабінет.</td>
<td>
</td>
</tr>
</table>

Рисунок 4.1 – Картка безпеки праці оператора лінії з виробництва хлібобулочних виробів

Висновки за розділом

Організація безпеки праці на хлібопекарному виробництві є комплексним процесом, який включає виявлення та усунення небезпечних факторів, забезпечення захисними засобами, дотримання правил безпечної експлуатації обладнання та чітку інструкцію щодо дій у разі надзвичайних ситуацій.

Раціональне поводження з відходами у хлібопекарському виробництві є ключовим фактором зниження екологічного навантаження та забезпечення стійкого розвитку галузі. Впровадження сучасних технологій, мінімізація утворення відходів, їх сортування, переробка та безпечна утилізація дозволяють не лише зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, але й ефективно використовувати ресурси. Відповідальний підхід до управління відходами сприяє збереженню екологічної рівноваги, підвищенню економічної ефективності виробництва та створює умови для сталого розвитку підприємств у майбутньому.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У цьому розрахунку ми порівнюємо собівартість випікання хліба за двома рецептурами: контрольним зразком, виготовленим з борошна пшеничного, та розробленою рецептурою, що містить композитне борошно (пшенично-бататно-гарбузове). Для точності розрахунків ми врахували масу всіх інгредієнтів, вартість та кількість кожного компонента в рецепті.

Контрольний зразок хліба містить борошно пшеничне, дріжджі свіжі, цукор-пісок, маргарин, сіль та воду. Кожен інгредієнт має свою частку в загальній вазі, що складає 100 г борошна, з урахуванням 14 % вологості.

Ціни інгредієнтів:

- Борошно пшеничне: 27,5 грн/кг;
- Дріжджі: 430 грн/кг;
- Цукор-пісок: 29 грн/кг;
- Маргарин: 140 грн/кг;
- Сіль: 35 грн/кг.

Для кожного інгредієнта ми обчислили вартість на основі його маси в рецепті.

1. Борошно пшеничне (100 г): 100 г×27,5 грн/1000 г=2,75 грн;
2. Свіжі дріжджі (5 г): 5 г×430 грн/1000 г=2,15 грн;
3. Цукор-пісок (1 г): 1 г×29 грн/1000 г=0,029 грн;
4. Маргарин (1 г): 1 г×140 грн/1000 г=0,14 грн;
5. Сіль (1.5 г): 1.5 г×35 грн/1000 г=0,0525 грн.

Загальна вартість контрольного зразка:

$$\text{Вартість}=2,75+2,15+0,029+0,14+0,0525\approx5,1215 \text{ грн}$$

У розробленій рецептурі використано три види борошна: 78,5 % орошна пшеничного, 11,5 % борошна з батату та 10 % борошна гарбузового. Додатково зберігаються ті ж інгредієнти, що й у контрольному зразку.

Ціни інгредієнтів:

- Борошно пшеничне: 27,5 грн/кг
- Борошно з батату: 300 грн/кг
- Борошно гарбузове: 90 грн/кг
- Дріжджі: 430 грн/кг
- Цукор-пісок: 29 грн/кг
- Маргарин: 140 грн/кг
- Сіль: 35 грн/кг

Розрахунок вартості інгредієнтів для розробленої рецептури:

1. Борошно пшеничне (78,5 г): 78.5 г×27.5 грн/1000 г=2.16175 грн;
2. Борошно з батату (11,5 г): 11.5 г×300 грн/1000 г=3,45 грн;
3. Борошно гарбузове (10,0 г): 10.0 г×90 грн/1000 г=0,9 грн;
4. Свіжі дріжджі (5 г): 5 г×430 грн/1000 г=2,15 грн;
5. Цукор-пісок (1 г): 1 г×29 грн/1000 г=0,029 грн;
6. Маргарин (1 г): 1 г×140 грн/1000 г=0.14 грн;
7. Сіль (1.5 г): 1.5 г×35 грн/1000 г=0,0525 грн;

Загальна вартість розробленої рецептури:

$$\text{Вартість}=2{,}16175+3{,}45+0{,}9+2{,}15+0{,}029+0{,}14+0{,}0525\approx 8{,}88325 \text{ грн}$$

Порівняння собівартості хліба

- Контрольний зразок: 5,1215 грн
- Розроблена рецептура: 8,88325 грн

Додаткові економічні показники

1. Вартість на 100 г хліба (собівартість):
   - Контрольний зразок: 5,12 грн
   - Розроблена рецептура: 8,88 грн
2. Вартість на 1 кг хліба (з урахуванням пропорцій):
   - Контрольний зразок:

$$5{,}12 \text{ грн}\times 10=51{,}2 \text{ грн}$$

Розроблена рецептура:

$$8{,}88 \text{ грн} \times 10 = 88{,}8 \text{ грн}$$

3. Різниця у вартості:

$$88{,}8 \text{ грн} - 51{,}2 \text{ грн} = 37{,}6 \text{ грн}$$

Висновки за розділом

У результаті розрахунків ми отримали чітке уявлення про собівартість випічки хліба за двома різними рецептурами. Розроблена рецептура виявилась дорожчою, що може бути пов’язано з використанням дорогих інгредієнтів. Однак, якщо врахувати можливі переваги, такі як підвищена поживність та оригінальний смак, використання композитного борошна може бути доцільним у виробництві хліба. Ці дані можуть бути корисні для подальшого аналізу та ухвалення рішень щодо оптимізації рецептури та виробничих процесів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Пшеничне борошно, багате клейковиною, забезпечує еластичність та розтяжність, необхідні для випікання, але має обмежений вміст біоактивних сполук, які сприяють здоров'ю. На противагу цьому, гарбуз і батат містять значну кількість β-каротину, вітамінів та мінералів, які можуть підвищити поживну цінність виробів. Дослідження показують, що додавання борошна з батату та гарбуза може зменшити використання борошна пшеничного та покращити поживну цінність хлібобулочних виробів, проте необхідно враховувати вплив на реологічні властивості тіста і якість випікання. Існує недостатня інформація про оптимальні пропорції та умови випікання, що підкреслює потребу в подальших дослідженнях для розробки продуктів, які поєднують переваги цих різних типів борошна. Метою досліджень є оптимізація складових частин борошна та умов випікання для створення якісних хлібобулочних виробів.

2. Для дослідження було використано високоякісну сировину, включаючи корені батату, гарбузи, пшеничне борошно, сухі дріжджі, маргарин, сіль та цукор-пісок. Особливу увагу приділено процесу підготовки бататного та гарбузового борошна, що включав очищення, нарізання, обробку метабісульфітом, сушіння та подрібнення до необхідної фракції. Дослідження проводили з метою визначення впливу часткової заміни борошна пшеничного на борошно з батату та гарбуза на якісні характеристики тіста і хліба. Для оцінки цих параметрів застосовували методологію поверхні відгуку, що дозволило дослідити оптимальні умови випікання та комбінації сировинних компонентів, які забезпечують високі показники якості продукту.

3. Характеристики тіста та хліба, що залежать від заміни борошна пшеничного на борошно з батату та гарбуза і умов випікання, були успішно вивчені та оптимізовані за допомогою методу поверхонь відгуку. Додавання борошна з батату та гарбуза значно знизило оптимальне водопоглинання тіста, об'ємний вихід хліба, показники активності води м'якуша, когезивність, пружність, відновлюваність і швидкість черствіння, тоді як час розвитку тіста, твердість та жувальність м'якуша зросли. Крім того, об'єм хліба та його питомий об'єм композитного хліба значно погіршилися, а вологість м'якуша зросла при підвищенні температури випікання понад 180 °C.

4. Включення борошна з батату та гарбуза у рецептуру хліба зменшувало швидкість черствіння композитного хліба під час зберігання. З іншого боку, більш високі температури випікання (≥190 °C) та триваліший час випікання (≥21 хв) підвищували швидкість черствіння м'якуша у збереженому хлібі. Оптимізована формула композитного хліба включала 78,5 % пшеничного борошна, 11,5 % борошна з батату, 10,0 % гарбузового борошна, і умови випікання при температурі 160 °C протягом 20 хв. Отримані в цьому дослідженні результати можуть бути корисними для хлібопекарської галузі у виробництві функціональних хлібобулочних виробів.

5. Проте існують деякі обмеження щодо промислового застосування борошна з батату та гарбуза, такі як комерційна доступність цих видів борошна, стабільність біоактивних сполук, таких як каротиноїди, під час виробництва та зберігання борошна, а також деградація каротиноїдів у процесі випікання та зберігання хліба. Крім того, для промислового застосування борошна з батату та гарбуза у випіканні хліба може знадобитися модифікація існуючих процедур хлібопекарського виробництва. Рекомендується, щоб майбутні дослідження зосередилися на оцінці стабільності біоактивних сполук оптимізованого композитного хліба з пшенично-бататно-гарбузового борошна під час випікання та зберігання.

6. Організація безпеки праці на хлібопекарному виробництві є комплексним процесом, який включає виявлення та усунення небезпечних факторів, забезпечення захисними засобами, дотримання правил безпечної експлуатації обладнання та чітку інструкцію щодо дій у разі надзвичайних ситуацій. Раціональне поводження з відходами у хлібопекарстві знижує екологічне навантаження, сприяє ресурсозбереженню та сталому розвитку. Мінімізація, сортування, переробка та безпечна утилізація відходів дозволяють ефективно використовувати ресурси та зберігати екологічну рівновагу.

7. Вартість контрольного зразка хліба з борошна пшеничного становить 51,2 грн за 1 кг, тоді як вартість хліба з розробленою рецептурою, що містить композитне борошно, становить 88,8 грн за 1 кг. Різниця у вартості складає 37,6 грн за 1 кг, що вказує на те, що хліб з композитного борошна є дорожчим. Ці додаткові витрати можуть бути виправдані за рахунок підвищеної поживності та оригінального смаку готового продукту.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Bello F.A., Akpan M.E., Sodipo M.A. Physicochemical and sensory properties of cookies produced from wheat, unripe plantain and germinated fluted pumpkin seed composite flour. Food Science and Quality Management, 2020, 96, 36-43.

2. Mohajan S., Munna M., Orchy T., Hoque M., Farzana T. Buckwheat flour fortified bread. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research, 2019, 54 (4), 347-356.

3. Mohiduzzaman M. Development of a food composition table for Bangladesh. Department of Chemistry, University of Dhaka, 2013.

4. Suzauddula M., Hossain M., Farzana T., Orchy T. N., Islam M., Hasan M. Incorporation of oat flour into wheat flour noodle and evaluation of its physical, chemical and sensory attributes. Brazilian Journal of Food Technology, 2021, 24.

5. Gul K., Tak A., Singh A., Singh P., Yousuf B., Wani A. A. Chemistry, encapsulation, and health benefits of β-carotene: A review. Cogent Food and Agriculture, 2015, 1 (1), Article 1018696.

6. Tee E.-S., Lim C.-L. Carotenoid composition and content of Malaysian vegetables and fruits by the AOAC and HPLC methods. Food Chemistry, 1991, 41 (3), 309–339.

7. Nanthachai N., Lichanporn I., Tanganurat P., Kumnongphai P. Development of pumpkin powder incorporated instant noodles. Current Research in Nutrition and Food Science Journal, 2020, 8 (2), 524–530.

8. Ozgoren E., Yapar A. Physicochemical, microstructure, and sensory properties of noodle enriched with pumpkin (Cucurbita moschata) powder. Latin American Applied Research, 2022.

9. Ubbor S., Ezeocha V., Okoli J., Agwo O., Olaoye O., Agbai I. Evaluation of biscuits produced from wheat (Triticum aestivum), tiger nut (Cyperus esculentus), and orange-fleshed sweet potato (Ipomea batatas) flours. FUDMA Journal of Sciences, 2022, 6(4), 254–261.

10. Padmaja G., Sheriff J. T., Sajeev M. S. Food uses and nutritional benefits of sweet potato. Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology, 2012, 6(1), 115–123.

11. Salama M., Mu T., Sun H., Influence of sweet potato flour on the microstructure and nutritional quality of gluten-free fresh noodles. International Journal of Food Science and Technology, 2021, 56(8), 3938–3947.

12. Sturm B. Raut S. Chikpah S. K. Ndisya J. Hensel O. Esper A. Korese J. K. Increase of nutritional security in Sub-Saharan Africa through the production of dried products from underutilized crops. Drying Technology, 2022. https://doi.org/10.1080/07373937.2022.2094400.

13. Baldermann S., Blagojević L., Frede K., Klopsch R., Neugart S., Neumann A., Ngwene B., Norkeweit J., Schröter D., Schröter A., Schweigert F. J., Wiesner M. Schreiner M. Are neglected plants the food for the future? Critical Reviews in Plant Sciences, 2016, 35, 106–119. https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1201399..

14. Chikpah S. K., Korese J. K., Hensel O., Sturm B. Effect of sieve particle size and blend proportion on the quality properties of peeled and unpeeled orange-fleshed sweet potato composite flours. Foods, 2020, 9(6), 1–22. https://doi.org/10.3390/foods9060740.

15. Ruttarattanamongkol K., Chittrakorn S., Weerawatanakorn M., Dangpium N. Effect of drying conditions on properties, pigments and antioxidant activity retentions of pretreated orange and purple-fleshed sweet potato flours. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(4), 1811–1822. https://doi.org/10.1007/s13197-015-2086-7.

16. Chikpah S. K., Korese J. K., Sturm B., Hensel O. Colour change kinetics of pumpkin (Cucurbita moschata) slices during convective air drying and bioactive compounds of the dried products. Journal of Agricultural and Food Research, 2022, 10, 100409. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100409.

17. Galanakis C.M., Aldawoud T.M.S., Rizou M., Rowan N. J., Ibrahim S.A. Food ingredients and active compounds against the coronavirus disease (COVID-19) pandemic: A comprehensive review. Foods, 2020, 9(11), 1701. https://doi.org/10.3390/foods9111701.

18. Liu S., Zhao L., Wang L., Liu H. Microstructure-modified products from stone-milled wheat bran powder improve glycemic response and sustain colonic fermentation. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 153, 1193–1201. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.249.

19. Edun A.A., Olatunde G.O., Shittu T.A., Adeogun A.I. Flour, dough and bread properties of wheat flour substituted with orange-fleshed sweet potato flour. Journal of Culinary Science Technology. 2018. https://doi.org/10.1080/15428052.2018.1436109.

20. Korese J.K., Chikpah S.K., Hensel O., Pawelzik E., Sturm B. Effect of orange-fleshed sweet potato flour particle size and degree of wheat flour substitution on physical, nutritional, textural and sensory properties of cookies. European Food Research and Technology, 2021, 247(4), 889–905. https://doi.org/10.1007/s00217-020-03672-z.

21. Awuni V., Alhassan M.W., Amagloh F.K. Orange-fleshed sweet potato (Ipomoea batatas) composite bread as a significant source of dietary vitamin A. Food Science Nutrition, 2018, 6(1), 174–179. https://doi.org/10.1002/fsn3.543.

22. Wongsagonsup R., Kittisuban P., Yaowalak A., Suphantharika M. Physical and sensory qualities of composite wheat-pumpkin flour bread with addition of hydrocolloids. International Food Research Journal, 2015, 22(2), 745–752.

23. Malavi D., Mbogo D., Moyo M., Mwaura L., Low J., Muzhingi T. Effect of orange-fleshed sweet potato puree and wheat flour on β-carotene, selected physicochemical and microbiological properties of bread. Foods, 2022, 11(7), 1051. https://doi.org/10.3390/foods11071051.

24. Rosales-Juárez M., González-Mendoza B., López-Guel E. C., Lozano-Bautista F., Chanona-Pérez J., Gutiérrez-López G., Farrera-Rebollo R., Calderón-Domínguez G. Changes on dough rheological characteristics and bread quality as a result of the addition of germinated and non-germinated soybean flour. Food Bioprocess Technology, 2008, 1(2), 152–160. https://doi.org/10.1007/s11947-007-0004-3.

25. Cappelli A., Oliva N., Cini E. Stone milling versus roller milling: A systematic review of the effects on wheat flour quality, dough rheology, and bread characteristics. Trends in Food Science Technology, 2020, 97, 147–155. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.008.

26. Dhaka V., Khatkar B.S. Influence of gluten addition on rheological, pasting, thermal, textural properties and bread making quality of wheat varieties. Quality Assurance and Safety of Crops Foods, 2015, 7(3), 239–249. https://doi.org/10.3920/QAS2012.0233.

27. Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke W.S., Courtin C.M., Gebruers K., Delcour J. A. Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. Trends in Food Science Technology, 2005, 16(1), 12–30. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.011.

28. Ma S., Wang Z., Liu N., Zhou P., Bao Q., Wang X. Effect of wheat bran dietary fibre on the rheological properties of dough during fermentation and Chinese steamed bread quality. International Journal of Food Science Technology, 2020, 45(1), 1–8. https://doi.org/10.1111/ijfs.14781.

29. Bredariol P., Spatti M., Vanin F.M. Different baking conditions may produce breads with similar physical qualities but unique starch gelatinization behaviour. LWT - Food Science and Technology, 2019, 111, 737–743. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.094

30. Cauvain S.P., Young L.S. Bakery food manufacture and quality: Water control and effects (2nd ed.). Hoboken, NJ: Wiley Blackwell. 2009.

31 . Gray J.A., Bemiller J.N. Bread staling: Molecular basis and control. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2003, 2(1), 1–21. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00003.x.

32. Zhao Z, Mu T, Sun H. Comparative study of the nutritional quality of potato steamed bread fermented by different sourdoughs. J Food Proc Preserv. 2019, 43:1–10. https://doi.org/10.1111/jfpp.14080.

33. Carballo Pérez I., Mu T.H., Zhang M., Ji L.L. Effect of high hydrostatic pressure on sweet potato flour on dough properties and characteristics of sweet potato-wheat bread. International Journal of Food Science and Technology, 2017, 53(5), 1087–1094. https://doi.org/10.1111/ijfs.13687.

34. Monthe O. C., Grosmaire L., Nguimbou R. M., Dahdouh L., Ricci J., Tran T., Ndjouenkeu R. Rheological and textural properties of gluten-free doughs and breads based on fermented cassava, sweet potato, and sorghum mixed flours. LWT - Food Science and Technology, 2019, 101, 575–582. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.051.

35. Lim P.Y., Sim Y.Y., Nyam K.L. Influence of kenaf (Hibiscus cannabinus L.) leaves powder on the physicochemical, antioxidant and sensorial properties of wheat bread. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14, 2425–2432. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00489-y

36. Hager A.S., Wolter A., Czerny M., Bez, J., Zannini E., Arendt E. K., Czerny M. Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. European Food Research and Technology, 2012, 235, 333–344. https://doi.org/10.1007/s00217-012-1763-2

37. Doan N.T.T., Lai Q. D., Vo H. V., Nguyen H.D. Influence of adding rice bran on physio-chemical and sensory properties of bread. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15, 5369–5378. https://doi.org/10.1007/s11694-021-01111-5

38. Sadeghi A., Ebrahimi M., Raeisi M., Ghods Mofidi S.M. Improving the antioxidant capacity of bread rolls by controlled fermentation of rice bran and addition of pumpkin (Cucurbita pepo) puree. Journal of Food Measurement and Characterization, 2019, 13, 2837–2845. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00204-6

39. Karrar E., Musa A., Sheth S., Huang W., Sarpong F., Wang X. Effect of sorghum sourdough and nabag (Ziziphus spina-christi) pulp powder on dough fermentation and quality characteristics of bread. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14, 455–464. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00307-0

40. Giri N.A., Sakhale B.K. Optimization of whey protein concentrate and psyllium husk for the development of protein-fiber-rich orange-fleshed sweet potato (Ipomoea batatas L.) bread by using response surface methodology. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14, 425–437. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00304-3

41. International Association for Cereal Science and Technology (ICC). ICC: Approved method 131 for test baking of wheat flour. Vienna: ICC. 2005.

42. Kieffer R., Belitz H., Zweier M., Ipfelkofer R., Fischbeck G. A 10-g micro-version of the rapid-mix-test. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1993, 197(2), 134–136. https://doi.org/10.1007/BF01260309

43. AOAC. Official methods of analysis of AOAC International (19th ed.). Washington, DC: AOAC. 2005.

44. AACC. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (10th ed.). St. Paul, Minnesota, USA: AACC. 2000.

45. AACC. American Association of Cereal Chemists approved method 44–15.02, moisture—air-oven methods. St. Paul, Minnesota, USA: AACC. 1999.

46. Алієв Е.Б., Миколенко С.Ю., Сова Н.А., та ін. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми: колективна монографія (Е. Б. Алієв, Ed.). Дніпро: ЛІРА. 2022. 192 с. ISBN 978-966-981-687-0.

47. Миколенко С.Ю., Алієв Е.Б., Алієва О.Ю., Долгіх Д.О. Структурно-механічні характеристики хлібних виробів із різним вмістом борошна амаранту. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН, 2022, 32, 132-142. https://doi.org/10.36710/IOC-2022-32-13

48. Mykolenko S., Aliieva O., Aliiev E., Pivovarov O. Technological and nutritional benefits of amaranth groats in breadmaking. Scientific Horizons, 2022, 25(11), 63-73. https://doi.org/10.48077/scihor.25(11).2022.63-73.

49. Mykolenko S.Y., Aliiev E.B., Dudin V.Y. Composite wheat-amaranth flour baking properties and bread freshness. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1277, Article 012021). International Scientific and Theoretical Conference "Modeling and Computer Engineering in Mechanical Engineering: Theory, Practice, and Innovation" (MCEME-2022). 2023. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1277/1/012021

50. Kundu H., Grewal R.B., Goyal A. Effect of incorporation of pumpkin (Cucurbita moschata) powder and guar gum on the rheological properties of wheat flour. Journal of Food Science and Technology. 2012. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0777-x

51. Turksoy S., Özkaya B. Pumpkin and carrot pomace powders as a source of dietary fiber and their effects on the mixing properties of wheat flour dough and cookie quality. Food Science and Technology Research, 2011, 17(6), 545–553.

52. Wagner M., Quellec S., Trystram G., Lucas T. MRI evaluation of local expansion in bread crumb during baking. Journal of Cereal Science, 2008, 48(1), 213–223. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.09.006.

53. Li L., Wang Z., Li L. M., Zheng X. L., Ma S., Wang X. X. Effects of fermented wheat bran on flour, dough, and steamed bread characteristics. Journal of Chemistry, 2018, Article 1597308. https://doi.org/10.1155/2018/1597308.

54. Przetaczek-Rożnowska I. Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 101, 51–57. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.092.