

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Чернігівський колегіум"
імені Т.Г.Шевченка

Природничо-математичний факультет
Кафедра хімії, технологій та фармації

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Освітній ступінь: магістр

на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА ЗА
ВИКОРИСТАННЯ ПРОТЕЇНІВ КОНОПЛІ**

Виконав

Магістрант 68 групи

Спеціальності 181 Харчові технології

Кльовий Олександр Вадимович

Науковий керівник: к.т.н, доцент

_____ Савченко О. М.

Роботу подано до розгляду « 12 » серпня 2025 року

Студент


(підпис)

Кльовий О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

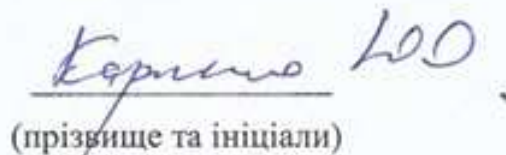

(підпис)

Савченко О.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент


(підпис)


(прізвище та ініціали)

Кваліфікаційну роботу розглянуто на засіданні кафедри хімії, технологій та фармації. Протокол № 6 від « 12 » серпня 2025 року.

Студент допускається до захисту даної роботи в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри


(підпис)

Курмакова І.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кльовий О. В. Удосконалення технології пшеничного хліба за використання протеїнів коноплі. – Кваліфікаційна наукова робота магістра на правах рукопису. Improving wheat bread technology using hemp proteins.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 181 Харчові технології. Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, м. Чернігів, 2025.

Кваліфікаційну роботу присвячено вивченню удосконалення технології виготовлення пшеничного хліба за використанням протеїнів ненаркотичних сортів конопель. У результаті аналізу літературних джерел та експериментальних досліджень обґрунтовано доцільність використання конопляного протеїну у технології виготовлення пшеничного хліба з метою підвищення його харчової та біологічної цінності. Встановлено, що конопляний протеїн позитивно впливає на біотехнологічні процеси тіста, життєздатність і ферментативну активність дріжджів, а також сприяє формуванню більш стабільної структури клейковини.

Проведено порівняльну оцінку органолептичних і фізико-хімічних показників хліба з різним вмістом конопляного протеїну (5 %, 7 % і 10 %). Визначено, що оптимальним є внесення 5-7 % протеїну, за якого зберігаються характерні для пшеничного хліба пористість, еластичність і гармонійні смакові властивості.

Отримані результати підтверджують перспективність застосування конопляного протеїну як функціональної добавки у виробництві пшеничного хліба.

Результати досліджень опубліковано на III Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Інноваційні технології розвитку харчових виробництв та ресторанної індустрії: наукові пошуки молоді».

Ключові слова: конопляний протеїн, пшеничний хліб, дріжджі, дослідження, клейковина, органолептичні та фізико-хімічні показники.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧОЇ ЛІТЕРАТУРИ	10
1.1 Особливості технології виробництва пшеничного хліба	10
1.2 Застосування рослинної сировини у виробництві хлібопекарської продукції.....	11
1.3 Застосування нутрієнтів для підвищення харчової цінності хлібобулочних виробів	13
1.4 Мікробіологічні та біохімічні основи застосування дріжджів у виробництві хліба.	15
1.4.1 Види хлібопекарських дріжджів та їх властивості.....	15
1.4.2 Мікробіологічні процеси та роль дріжджів у тісті.	16
1.4.3 Активація дріжджів: підходи та ефекти	17
1.4.4 Бродіння: спиртове бродіння як ключовий процес	19
1.5 Аналіз наукових підходів до підвищення оздоровчих властивостей хліба ..	22
1.6 Стан питання щодо використання протеїнів у хлібопекарській промисловості.....	26
1.7 Хімічний склад і властивості конопляного протеїну за даними наукових джерел.....	28
Висновки до розділу 1	29
РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	31
2.1 Об'єкти дослідження	31
2.1.1 Борошно пшеничне, вищого ґатунку.	31
2.1.2 Протеїн коноплі.....	32
2.1.3 Дріжджі пресовані хлібопекарські.	35
2.1.4 Вода питна.	35
2.1.5 Сіль кухонна кам'яна	36

2.1.6 Цукор	37
2.1.7 Олія соняшникова рафінована.....	37
2.2. Методи дослідження	38
2.2.1 Аналітичні методи	40
2.2.2 Мікробіологічні методи.....	46
2.2.3 Фізико-хімічні методи	49
2.2.4 Визначення органолептичних показників	56
2.2.5 Методи контролю фізико-хімічних показників готових хлібних виробів.....	57
Висновки до розділу 2	60
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	62
3.1 Лабораторні дослідження сировини та напівфабрикатів.....	62
3.1.1. Фізико-хімічні методи	62
3.1.2. Біохімічні та мікробіологічні дослідження дріжджів та напівфабрикатів.....	71
3.2 Розробка рецептур та технології приготування хліба.	80
3.2.1. Розробка рецептур дослідних зразків	80
3.2.2. Технологія приготування дослідних зразків.	81
3.2.3. Технологічна схема виробництва пшеничного хліба з конопляним протеїном.....	89
3.2.4. Апаратурно-технологічна схема виробництва	91
3.3 Органолептична оцінка готових виробів	93
3.4 Фізико-хімічні показники готових хлібних виробів.....	96
Висновки до розділу 3	100
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА	102
Висновок до розділу 4.....	104

ВИСНОВКИ.....	105
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	106
Додаток А.....	111
Додаток Б.....	112
Додаток В.....	114

ВСТУП

Актуальність теми. Початок ХХІ століття характеризується переходом розвинених країн до постіндустріального етапу розвитку, що супроводжується підвищеною увагою суспільства до здорового способу життя, збалансованого харчування та профілактики захворювань. У цьому контексті значну популярність набувають харчові продукти з функціональними властивостями, що здатні не лише задовольняти енергетичні потреби організму, а й забезпечувати його біологічно активними компонентами, необхідними для підтримання здоров'я.

Хліб є одним із базових продуктів раціону людини протягом понад 5000 років, що робить його перспективним об'єктом для збагачення біологічно цінними інгредієнтами, зокрема рослинними білками. Тема підвищення харчової цінності хліба за рахунок нутрієнтів активно досліджується вітчизняними та зарубіжними вченими [1]. Більшість науковців розглядають хліб як комплексний продукт з унікальним хімічним складом, специфічною структурою та властивостями, що зумовлюють необхідність науково обґрунтованого підходу до його збагачення. Враховуючи наявний амінокислотний профіль пшеничного білка, більш доцільним є внесення рослинної сировини, ніж використання дорогих тваринних білкових компонентів.

Актуальність дослідження зумовлена також тенденціями сучасного харчування: за даними досліджень [2], значна частина населення недоотримує повноцінний білок та амінокислоти через високий темп життя, нерегулярність харчування, підвищені фізичні навантаження та поширення рафінованих продуктів. Дефіцит білка здатний спричиняти ослаблення імунної системи, зниження м'язової маси, погіршення стану шкіри, волосся та нігтів, а також порушення водно-електролітного балансу.

Рекомендована добова норма білка для дорослої людини становить приблизно 0,8 г/кг маси тіла [3], тоді як для осіб із підвищеним фізичним навантаженням – 1,2-2,0 г/кг [4].

Аналіз харчування населення України свідчить про середній дефіцит білка на рівні 15-20 г на добу, а також знижену кількість поліненасичених жирних

кислот Омега-3 та Омега-6 у раціоні. Одночасно традиційний пшеничний хліб забезпечує лише близько 7 г білка на 100 г продукту, а вміст есенціальних жирних кислот у ньому є мінімальним. [5].

У цьому контексті перспективним є використання конопляного протеїну з ненаркотичних сортів конопель – гіпоалергенної рослинної сировини з повноцінним амінокислотним складом, високим вмістом білка (54,3 % у застосованому протеїні «Здорово») та значною часткою поліненасичених жирних кислот Омега-3 та Омега-6. Включення такої добавки до рецептури пшеничного хліба дозволяє підвищити його біологічну та харчову цінність, а також частково компенсувати нутрієнтний дефіцит у раціоні населення.

Таким чином, розробка технології пшеничного хліба з використанням конопляного протеїну є актуальним завданням харчової галузі, що має як наукове, так і практичне значення.

Мета дослідження:

Розробка рецептури хліба з підвищеними оздоровчими властивостями шляхом використання протеїнів коноплі з ненаркотичних сортів конопель.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз наукової літератури щодо використання рослинних протеїнів у хлібопекарській промисловості.
2. Визначити хімічний склад і харчову цінність протеїнів коноплі.
3. Дослідити вплив рослинних протеїнів на технологічні властивості тіста та якість готового хліба.
4. Розробити оптимальну рецептуру хліба з додаванням рослинних протеїнів.
5. Провести органолептичну та фізико-хімічну оцінку готового продукту, а також аналіз змін його харчової цінності.
6. Надати рекомендації для впровадження отриманих результатів у хлібопекарське виробництво.

Об'єкт дослідження:

Технологічний процес виробництва пшеничного хліба із додаванням конопляного протеїну з ненаркотичних сортів конопель.

Предмет дослідження:

Вплив протеїнів коноплі на фізико-хімічні, органолептичні та оздоровчі властивості хліба.

Методи досліджень: Аналітичні, органолептичні, фізико-хімічні методи.

Наукова новизна дослідження:

1. Розроблено та апробовано рецептури пшеничного хліба з додаванням 5%, 7% та 10% конопляного протеїну.
2. Встановлено оптимальні рівні внесення конопляного протеїну (5-7%), що забезпечують підвищення харчової цінності хліба без погіршення його органолептичних та структурно-механічних властивостей.
3. Досліджено вплив конопляного протеїну на перебіг дріжджового бродіння та структурно-механічні властивості тіста.
4. Показано, що додавання конопляного протеїну підвищує білкову цінність хліба та збагачує його поліненасиченими жирними кислотами.
5. Проведено комплексне дослідження зимазної, мальтазної та амілазної активності дріжджів у середовищі з додаванням конопляного протеїну.
6. Виявлено морфологічні зміни дріжджових клітин у присутності конопляного протеїну.
7. Експериментально підтверджено позитивний вплив конопляного протеїну на масу клейковини та її поведінку в тісті.
8. Запропоновано та обґрунтовано технологічну схему виробництва хліба з конопляним протеїном, включно з апаратурним оформленням процесу та покроковим описом усіх стадій виготовлення.

Отримані результати розширюють наукові знання щодо використання рослинних протеїнів у хлібопекарській промисловості та сприяють розвитку функціональних продуктів харчування.

Робота викладена на 116 сторінках, містить 35 рисунків, 23 таблиць, 3 додатки. Опрацьовано 46 літературних джерел.

Результати цих досліджень були опубліковані на III Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Інноваційні технології розвитку харчових виробництв та ресторанної індустрії: наукові пошуки молоді».

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Особливості технології виробництва пшеничного хліба

Процес виготовлення пшеничного хліба, а також його якість залежать насамперед від біотехнологічної активності хлібопекарських дріжджів. У виробництві використовують різні види дріжджів: пресовані, сухі та рідкі, головною характеристикою яких є їхня піднімальна сила.

Як зазначено у дослідженні Алексейчука Л.Б. [6], на піднімальну силу дріжджів значно впливають різні складові тіста. Додавання до рецептури таких компонентів, як рослинна олія, вершкове масло, яєчні білки та жовтки, позитивно впливає на активність дріжджів виду *Saccharomyces cerevisiae*.

Відомо, що з часом бродильна та ферментативна активність дріжджів погіршуються під час зберігання. Для її покращення нині застосовуються різні методи: магнітна, термічна, електрохімічна обробка, а також використання харчових добавок.

Водночас застосування великої кількості синтетичних харчових добавок є небажаним, особливо у виробництві продуктів для дітей та дієтичного харчування. Найбільш ефективним і доцільним вважається використання сумішей натуральної рослинної сировини, яка містить вітаміни, органічні кислоти та мінеральні солі. Такі натуральні компоненти є природними джерелами біологічно активних речовин, що сприяють підвищенню ферментативної активності дріжджів. [7]

Дослідження доводять можливість застосування таких компонентів, як кава, цикорій і сік лимону, у технології виробництва пшеничного хліба. Ці рослинні добавки позитивно впливають на бродильну активність пресованих дріжджів, оскільки збагачують їх амінокислотами, мінералами та вітамінами. Порівняно з контрольними зразками, зимазна активність підвищується на 27-43%, а мальтазна – на 24-42%. Це дозволяє значно скоротити термін дозрівання тіста та тривалість технологічного процесу випікання пшеничного хліба [6, 7].

1.2 Застосування рослинної сировини у виробництві хлібопекарської продукції.

Харчування є одним із найважливіших чинників, що визначають стан здоров'я людини. Тому хлібобулочні вироби, які споживаються щодня, потребують збагачення та удосконалення складу для підвищення їхньої біологічної цінності. Асортимент такої продукції в Україні охоплює сотні видів, що відрізняються за зовнішнім виглядом і смаком. Зокрема, розрізняють хліб з житньо-пшеничного борошна, з оббивного та обдирного борошна. Також існують етнічні види хліба, такі як лаваш, чурек і коржики, а також спеціальні вироби для осіб із цукровим діабетом та іншими захворюваннями [7, 8].

Використання плодово-овочевих порошків та пюре.

Використання рослинної сировини в технології виробництва хліба дозволяє значно збагатити готові вироби макро- та мікронутрієнтами, а також надати їм лікувально-профілактичних властивостей [9, 10]. Збагачення пшеничного хліба біологічно активними речовинами допомагає компенсувати дефіцит вітамінів і мінералів в організмі та посилює імунний захист. Так, вітамінізований хліб може сприяти швидкому відновленню після хвороб, покращенню роботи головного мозку у стресових умовах та нормалізації тону кровеносних судин [9, 10].

Особливу увагу вчені та виробники приділяють добавкам з безпечної рослинної сировини, багаті на олігосахариди, харчові волокна, вітаміни та мікроелементи [11]. Дослідження підтверджують, що овочево-фруктові суміші є доцільними для збагачення хлібобулочних виробів, оскільки вони не лише покращують смакові властивості та аромат, а й підвищують біологічну цінність готових виробів [7]. Навіть за високих температур під час випікання, близько 70% вітамінів зберігаються.

Використання порошків овочів та ягід.

Приклади використання різної сировини у виробництві хліба різноманітні. Зокрема, додавання порошків буряка, гарбуза, моркви та топінамбуру підвищує поживність хліба, а також сприяє виведенню радіонуклідів та важких металів з організму [7]. Використання ягід глоду у кількості 1-3% маси борошна покращує

хлібопекарські властивості тіста [12]. Аналогічно, додавання відвару шипшини (15% маси борошна) або ягід обліпихи збагачує хліб біологічно активними речовинами, зберігаючи їх навіть після випікання [13].

Додавання фруктових сиропів та шротів.

Група дослідників також досліджувала вплив плодів мушмули, глоду, ожини (3-9%) на якість хліба: ці добавки покращували забарвлення скоринки, пористість м'якушки та формостійкість. Крім того, використовували шрот із кісточок абрикосів та аличі, що містить підвищену кількість білків, а також комплексні CO₂-екстракти для покращення харчової цінності [14].

Використання плодово-ягідних сиропів і екстрактів.

У Національному університеті харчових технологій було розроблено рецептури здобних виробів із додаванням плодово-ягідних сиропів (10-16%): це замінювало цукор і покращувало гідратаційну здатність білків клейковини. Внесення цих сиропів інтенсифікує біотехнологічну активність дріжджів. Л.Г. Резнікова вивчала вплив порошку цикорію, який містить підвищену кількість біологічно активних речовин, на якість готових виробів [15].

Також перспективним є використання екстрактів і порошоків виноградних кісточок, шкірки гранату та грейпфрута, що мають виражені антиоксидантні властивості й подовжують термін зберігання виробів [16]. Дослідження цільнозернового хліба з пророщеного зерна пшениці (12-24%) підтверджують його переваги: підвищений вміст клітковини, вітамінів і мінералів, а також здатність захищати організм від впливу негативних факторів середовища [11].

Використання насіння та нетрадиційної сировини.

Насамкінець, перспективним є використання насіння гарбуза, кунжуту, подрібнених злаків (5-10%) та порошку топінамбуру (5%) як джерел інуліну, що особливо корисно для осіб із цукровим діабетом. Всі ці компоненти не лише підвищують харчову цінність, а й покращують смак, аромат і термін зберігання готових виробів.

Таким чином, застосування широкого спектра рослинної сировини у виробництві хлібобулочних виробів дозволяє створювати продукти з

підвищеними оздоровчими властивостями та забезпечувати профілактичну дію на організм людини.

1.3 Застосування нутрієнтів для підвищення харчової цінності хлібобулочних виробів

Хлібобулочні вироби є основним продуктом щоденного раціону населення, проте традиційні рецептури часто не забезпечують організм необхідною кількістю нутрієнтів, таких як білки, вітаміни, мінеральні речовини та харчові волокна. Тому актуальним є збагачення хлібобулочних виробів функціональними інгредієнтами, що дозволяє підвищити їхню біологічну цінність та сприяти профілактиці різних захворювань.

Збагачення білками

Одним із напрямків підвищення харчової цінності хлібобулочних виробів є збагачення їх білками. Для цього використовують рослинні білкові ізоляти, зокрема соєві, які містять високий рівень незамінних амінокислот, таких як лізин і треонін. Додавання соєвого білка в кількості 5-10% до маси борошна покращує амінокислотний склад виробів, підвищує їхню поживну цінність та сприяє зниженню ризику розвитку білкової недостатності.

Збагачення харчовими волокнами

Харчові волокна відіграють важливу роль у підтриманні нормальної функції шлунково-кишкового тракту та профілактиці серцево-судинних захворювань. Для збагачення хлібобулочних виробів харчовими волокнами використовують пшеничні висівки, лляне насіння, а також порошки з овочів і фруктів, таких як гарбуз, морква, буряк та яблука. Додавання 5-15% таких інгредієнтів до рецептури хліба підвищує вміст харчових волокон, покращує органолептичні властивості виробів та сприяє зниженню глікемічного індексу продукту.

Збагачення вітамінами та мінеральними речовинами

З метою профілактики гіповітамінозів та недостатності мінеральних речовин хлібобулочні вироби збагачують вітамінами групи В (тіамін, рибофлавін, ніацин, фолієва кислота) та мінеральними речовинами, такими як залізо, кальцій, йод і селен. Для цього використовують спеціальні мінерально-

вітамінні премікси, які додають до борошна або тіста. Наприклад, додавання фолієвої кислоти в кількості 0,4 мг на 100 г продукту сприяє зниженню ризику розвитку вроджених дефектів нервової трубки у новонароджених. Збагачення залізом у формі залізо-сульфату або залізо-фумарату допомагає в профілактиці залізодефіцитної анемії [17].

Використання нетрадиційної рослинної сировини

Нетрадиційна рослинна сировина, така як конопляне борошно, морська капуста, порошки з ягід та овочів, є джерелом біологічно активних речовин, включаючи антиоксиданти, поліфеноли та ненасичені жирні кислоти. Додавання конопляного борошна в кількості 5-10% до маси борошна підвищує вміст білків, жирів та харчових волокон у хлібобулочних виробках. Використання порошків з морської капусти забезпечує надходження йоду, необхідного для нормального функціонування щитоподібної залози [14].

Технологічні аспекти збагачення

Важливим аспектом збагачення хлібобулочних виробів є збереження біологічної активності доданих нутрієнтів під час технологічного процесу. Тому необхідно враховувати можливі втрати вітамінів і мінералів під час замісу, бродіння та випікання тіста. Для мінімізації таких втрат рекомендується використовувати стабільні форми вітамінів, а також додавати їх на пізніших етапах технологічного процесу. Приклади дозування нутрієнтів та їхній ефект у хлібобулочних виробках наведено в таблиці 1.1.

Таким чином, збагачення хлібобулочних виробів нутрієнтами є ефективним засобом підвищення їхньої харчової цінності та профілактики різних захворювань [1]. Використання білкових ізолятів, харчових волокон, вітамінів, мінералів та нетрадиційної рослинної сировини дозволяє створювати функціональні продукти, що відповідають сучасним вимогам до здорового харчування [2].

Таблиця 1.1

Дозування нутрієнтів та їхній ефект у хлібобулочних виробках.

Нутрієнт / Додаток	Дозування	Основний ефект
Соевий білок	5-10%	Покращення амінокислотного складу, підвищення поживної цінності
Харчові волокна	5-15%	Підтримка роботи травної системи, зниження глікемічного індексу
Фолієва кислота	0,4 мг/100 г	Зниження ризику розвитку вроджених дефектів у новонароджених
Конопляне борошно	5-10%	Підвищення вмісту білків, жирів, харчових волокон

1.4 Мікробіологічні та біохімічні основи застосування дріжджів у виробництві хліба.

Дріжджі – це мікроорганізми, які відіграють ключову роль у виробництві хлібобулочних виробів. Їх використання обумовлено здатністю до інтенсивного спиртового бродіння, що супроводжується виділенням вуглекислого газу, необхідного для розпушення тіста та створення його структури [18]. Окрім цього, дріжджі беруть участь у формуванні смаку та аромату хліба, а також підвищують його харчову цінність завдяки синтезу амінокислот, вітамінів групи В та інших біологічно активних речовин [19].

1.4.1 Види хлібопекарських дріжджів та їх властивості

Залежно від фізико-хімічних характеристик та особливостей застосування, дріжджі поділяються на пресовані, сухі та інстантні.

Пресовані дріжджі – це технічно чиста культура *Saccharomyces cerevisiae*, сформована у брикети з вологістю 67-75%. Вони характеризуються високою ферментативною активністю, що забезпечує ефективне бродіння тіста та формування його органолептичних властивостей.

- Сухі дріжджі мають вологість 4-10%, вони більш стабільні при зберіганні, але потребують активації у водному середовищі.
- Інстантні дріжджі відрізняються швидкою гідратацією та високою активністю, що робить їх популярними у промисловому виробництві.

Раси та штами дріжджів також суттєво різняться за ферментативною активністю. Наприклад, раса Одеська 14 має високу зимазну та мальтазну активність (45 і 95 хв відповідно), тоді як Томська 7 характеризується високою зимазною, але слабкою мальтазною активністю [19]. Такі відмінності важливо враховувати при підборі дріжджів для конкретних видів хлібобулочних виробів.

1.4.2 Мікробіологічні процеси та роль дріжджів у тісті.

У процесі приготування тіста дріжджі виконують не лише роль біокаталізатора, а й є важливим джерелом біологічно активних речовин. Дріжджі роду ***Saccharomyces cerevisiae*** проявляють високу ферментативну активність, що дозволяє їм швидко адаптуватися до середовища тіста й ефективно розщеплювати наявні вуглеводи [19]. Основним шляхом метаболізму є спиртове бродіння, під час якого моно- та дисахариди перетворюються на етиловий спирт, діоксид вуглецю, а також ряд вторинних продуктів, що формують смак і аромат хліба [18].

У тісті дріжджі активують два основних ферментативних комплекси:

Зимазний комплекс – каталізує розщеплення глюкози до спирту й CO_2 , забезпечуючи пухкість тіста.

Мальтазний комплекс – бере участь у гідролізі мальтози, яка утворюється під час ферментативного розпаду крохмалю під дією амілаз борошна [18].

Водночас, під час бродіння утворюються й інші речовини: гліцерин, органічні кислоти, ароматичні сполуки (ефіри, альдегіди, спирти), які надають хлібу приємний аромат і смак [19].

Дріжджі також взаємодіють із молочнокислими бактеріями, які можуть бути присутні у заквасках. Ці бактерії синтезують молочну кислоту, що знижує рН тіста та покращує біологічну цінність хліба. Така симбіотична взаємодія дріжджів і бактерій створює умови для:

- Поліпшення структурно-механічних властивостей тіста: формується більш стабільний клейковинний каркас, що краще утримує гази бродіння.
- Збагачення тіста поживними речовинами: дріжджі синтезують вітаміни групи В, біотин, фолієву кислоту, а також цінні амінокислоти (лізин, треонін, аргінін).

- Підвищення стійкості до черствіння: вторинні продукти метаболізму дріжджів уповільнюють процеси старіння м'якушки, продовжуючи термін зберігання виробів [18].

Крім того, мінеральні речовини і вітаміни у тісті активують ферментні системи дріжджів. Наприклад, іони калію, магнію, заліза та міді стимулюють ферментативну активність зимазного і мальтазного комплексів. Це особливо важливо при використанні дріжджів у поєднанні з нетрадиційною рослинною сировиною (фітодобавками), яка додатково збагачує середовище біогенними мікроелементами.

Таким чином, роль дріжджів у тісті виходить далеко за межі звичайного розпушення: вони формують якісні, смакові, ароматичні та харчові властивості хлібобулочних виробів, що є основою їхньої високої споживчої та функціональної цінності [19].

1.4.3 Активація дріжджів: підходи та ефекти

Активація дріжджів – це один із ключових напрямків підвищення їхньої біотехнологічної активності та оптимізації процесу бродіння тіста. Сутність цього процесу полягає у створенні спеціальних умов для адаптації дріжджових клітин до анаеробного середовища тіста, а також у підвищенні їхньої ферментативної активності, що має велике значення для поліпшення якості та харчової цінності хлібобулочних виробів [20].

Мета активації:

- Створити сприятливі умови для переходу клітин дріжджів із аеробного дихання до анаеробного бродіння.
- Підвищити підйомну силу дріжджів.
- Зменшити витрати дріжджів у рецептурі (економічний ефект).
- Скоротити тривалість бродіння тіста (підвищення ефективності виробництва).

Живильні середовища для активації.

Для активації дріжджів використовують спеціально підготовлені живильні суміші, які містять:

- Вуглецеві джерела – цукор-пісок, яблучні вичавки, концентрат квасного суслу, меляса.
- Азотисті компоненти – білкові гідролізати, білкові концентрати.
- Мінеральні солі – сульфати магнію, амонію, кальцію, цинку, а також фосфати та триполіфосфати натрію.
- Вітаміни (тіамін, рибофлавін, біотин) та інші біостимулятори, які активують ферментативні комплекси дріжджів.

Особливо перспективним є застосування нетрадиційної рослинної сировини, наприклад, порошку з яблучних вичавок. Така сировина збагачена легкодоступними цукрами (глюкоза, фруктоза) та мікроелементами, що активно засвоюються дріжджами. Результати досліджень показали, що використання яблучних вичавок скорочує тривалість зброджування мальтози у 2-2,3 рази, а загальний обсяг виділення CO₂ під час бродіння зростає на 58% [20].

Фізико-хімічні методи активації.

Крім хімічних живильних середовищ, застосовуються фізичні методи стимуляції активності дріжджів:

- Лазерне випромінювання (довжина хвилі 632,8 нм) – підвищує активність ферментних систем, стимулює ріст і розмноження дріжджів, збільшує підйомну силу тіста.
- Електрохімічна обробка – підвищує проникність клітинних мембран, посилює дію ферментів мальтазного та зимазного комплексів, що забезпечує рівномірний розподіл дріжджів у тісті.
- Магнітна обробка – активує ферменти та стабілізує структуру дріжджової клітини.

Практичні результати застосування активації:

- Економія: використання активованих дріжджів дозволяє знизити їхню витрату на 25-40% без втрати якості готового виробу.
- Підвищення обсягу хліба: питомий об'єм збільшується на 10-23% завдяки кращому газоутворенню та розвитку пористої структури м'якушки [20].

- Поліпшення аромату й смаку: біохімічні реакції, активовані в дріжджах, формують кращий ароматичний профіль хліба, роблять його смак насиченішим.
- Продовження терміну зберігання: завдяки стабілізації структури тіста та активності ферментів хліб повільніше черствіє [18].

1.4.4 Бродіння: спиртове бродіння як ключовий процес

Спиртове бродіння – це основний мікробіологічний та біохімічний процес, що забезпечує формування обсягу та структури хлібобулочних виробів. Цей процес здійснюється дріжджами роду *Saccharomyces cerevisiae* і полягає у ферментативному розщепленні цукрів на етиловий спирт, діоксид вуглецю (CO₂) та інші продукти метаболізму [18]. Схема спиртового бродіння наведена в рис. 1.1.

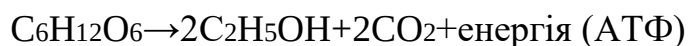
Основними цукрами, які дріжджі здатні зброджувати, є: моносахариди (глюкоза, фруктоза), та дисахариди (сахароза, мальтоза).

Під дією ферментів дріжджів (зимазний комплекс) цукри розщеплюються у два основні етапи:

Гліколіз – шлях розщеплення глюкози до піровиноградної кислоти (пірувату) з утворенням невеликої кількості енергії (АТФ).

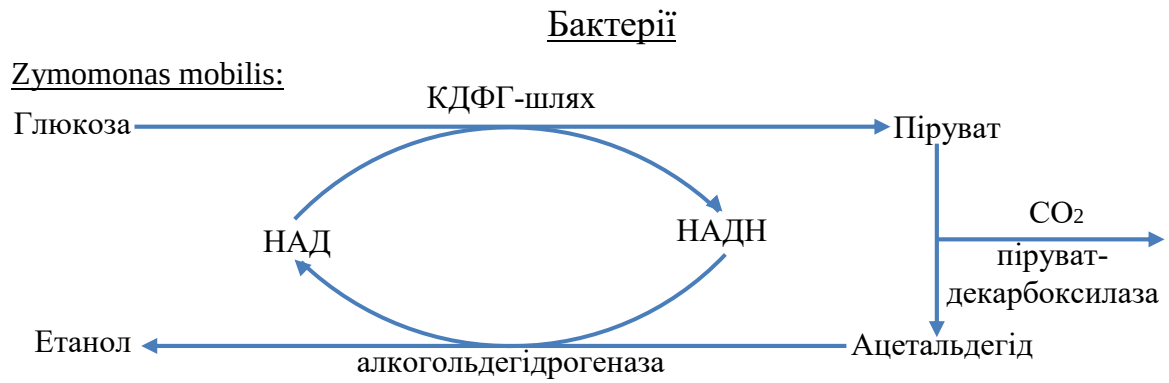
Перетворення пірувату – у безкисневих умовах піруват під дією ферментів піруватдекарбоксилази та алкогольдегідрогенази перетворюється на етиловий спирт та діоксид вуглецю [18].

Формула спиртового бродіння:



Газоутворення: діоксид вуглецю утворює бульбашки газу, які розтягують клейковинну сітку, створюючи пористу структуру м'якушки.

Формування аромату та смаку: побічні продукти бродіння (гліцерин, органічні кислоти, спирти, ефіри) додають хлібу характерний смак і присмний аромат.



Leuconostoc mesenteroides:

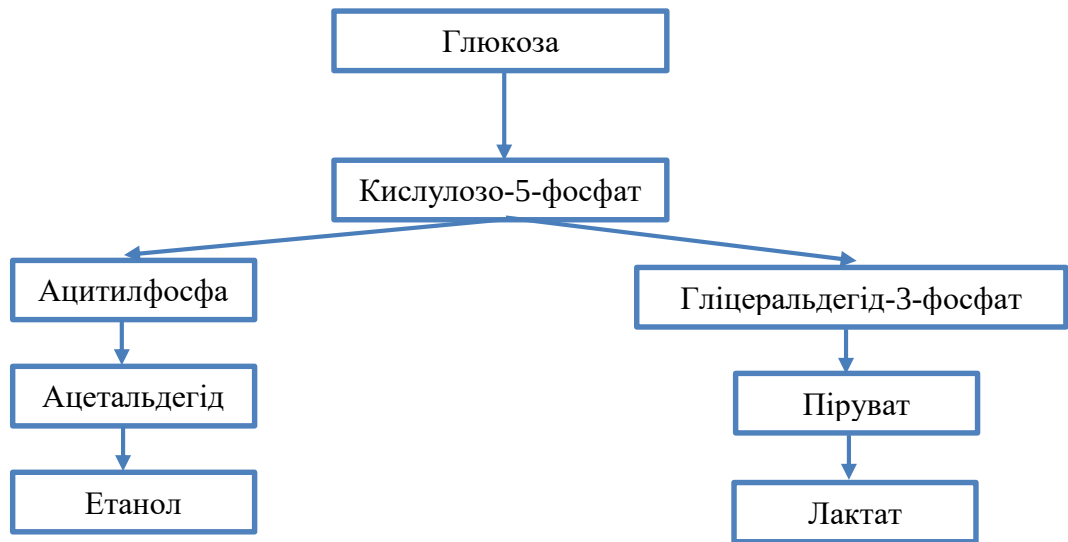


Рис. 1.1. Спиртове бродіння

Покращення харчової цінності: дріжджі синтезують вітаміни групи В (тіамін, рибофлавін), біотин, а також продукують амінокислоти (лізин, треонін), що підвищує харчову цінність готових виробів [19].

Швидкість бродіння та вплив факторів:

Інтенсивність бродіння залежить від:

- температури тіста (оптимально 30-32°C),
- концентрації цукрів і ферментативної активності дріжджів,
- наявності активаторів ферментів (іони K^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+})

При застосуванні активованих дріжджів бродіння проходить швидше і стабільніше. Наприклад, дослідження із застосуванням яблучних вичавок показали, що тривалість зброджування мальтози скорочується у 2-2,3 рази, а загальний обсяг утвореного CO_2 зростає на 55-58%.

Роль дріжджових ферментів:

- Зимаза – комплекс ферментів, що каталізує розщеплення глюкози та фруктози.
- Мальтаза – каталізує гідроліз мальтози до глюкози, що особливо важливо у тісті пшеничного хліба.

Ці ферментативні реакції відбуваються паралельно та взаємопов'язано, створюючи комплекс умов для формування якісної структури хлібобулочних виробів.

У тісті, що містить закваски, одночасно зі спиртовим бродінням відбувається молочнокисле бродіння. Молочнокислі бактерії знижують рН, покращують смак та збільшують біологічну цінність хліба, створюючи оптимальні умови для розвитку дріжджів і синтезу біологічно активних речовин [18].

Спиртове бродіння – це центральний процес у виробництві хліба, що забезпечує:

- газоутворення і формування об'єму,
- структурно-механічні властивості тіста,
- збагачення хліба біологічно активними речовинами.

Завдяки сучасним підходам до активації дріжджів та використанню

спеціальних живильних середовищ цей процес стає більш ефективним і стабільним, що відповідає вимогам сучасних технологій здорового харчування [6].

1.5 Аналіз наукових підходів до підвищення оздоровчих властивостей хліба

У сучасних умовах зростає потреба у хлібобулочних виробих з підвищеною харчовою та біологічною цінністю. Наукові дослідження спрямовані на розробку технологій, що дозволяють збагачувати хліб функціональними інгредієнтами, зокрема рослинними білками, вітамінами, мінералами та харчовими волокнами.

Сучасні наукові дослідження спрямовані на використання функціональних інгредієнтів для збагачення хлібобулочних виробів. Основними підходами є:

Застосування рослинних протеїнів

Використання рослинних протеїнів у хлібопекарській промисловості сприяє підвищенню харчової цінності хлібобулочних виробів. Зокрема, додавання соєвого борошна у кількості до 3% не змінює нормативно-технічну документацію на хлібобулочні вироби, а при дозуванні 5-8% використовується для приготування пиріжків, пончиків та здоби. Збільшення дозування до 10-12% застосовується у виробих підвищеної біологічної цінності, а при 20-25% – для випікання виробів лікувально-профілактичного призначення [21].

Крім сої, перспективним є використання конопляного протеїну, який містить усі незамінні амінокислоти та має високий вміст білка. Додавання конопляного борошна до пшеничного тіста у кількості 10% сприяє підвищенню вмісту білків на 27,4%, жирів – на 200,8%, харчових волокон – на 497,2%. Також спостерігається збільшення питомого об'єму хліба на 26,3% та пористості на 10,9% [14].

Використання мінеральних добавок

Збагачення хлібобулочних виробів мінеральними речовинами є ефективним способом підвищення їх оздоровчих властивостей. Зокрема, використання комплексного преміксу «Наномікроєнт», який містить оксиди кремнію, магнію, заліза, кальцію, марганцю та натрію, дозволяє зменшити

дозування солі до 0,6% до маси борошна та покращити мінеральний склад хлібобулочних виробів. Дослідження показали, що внесення 1% «Наномікроєнт» до маси борошна сприяє збільшенню вмісту кальцію на 6,7%, фосфору – на 3,9%, калію – на 4,8%, магнію – на 18%, заліза – на 277% [22].

Також досліджено можливість застосування суспензій колоїдів біогенних металів Mg і Mn у хлібопекарській промисловості. Доведено, що їх використання зменшує тривалість вистоювання тістових заготовок, покращує колір м'якушки готових виробів та подовжує тривалість черствіння, а також покращує мінеральний склад хлібобулочних виробів [23].

Використання харчових волокон.

Збагачення хлібобулочних виробів харчовими волокнами є одним із напрямів підвищення їх оздоровчих властивостей. В якості сировини для збагачення використовують злакові культури, продукти їх переробки, а також препарати харчових волокон: житні та пшеничні висівки, сушені овочі і фрукти, пшеничну крупку, пшеничні зародкові пластівці, метилцелюлозу, концентрати харчових волокон гороху та картопляної клітковини. Зокрема, використання картопляної клітковини у кількості до 8% до маси борошна сприяє підвищенню вмісту харчових волокон у готовому виробі, покращенню його структурно-механічних властивостей та подовженню терміну зберігання [24].

Додавання суміші овочево-фруктових порошоків та подрібненого насіння льону до рецептури хлібобулочних виробів сприяє підвищенню їх харчової цінності, збагаченню вітамінами і мінералами, а також зниженню глікемічного індексу. Ці інгредієнти активують дріжджові клітини, сприяють зростанню підйомної сили при вистоюванні тіста та забезпечують добру формостійкість готових виробів [25].

Використання інуліну для збагачення хлібобулочних виробів харчовими волокнами доводить його ефективність. Інулін уповільнює ретроградацію крохмалю м'якушки та підвищує її гідрофільні властивості, що сприяє збереженню свіжості хліба [26].

Використання борошна тефу

Ще одним перспективним напрямом у підвищенні оздоровчих властивостей пшеничного хліба є використання борошна тефу. У статті О. В. Науменка та співавторів [27] наведено результати досліджень щодо впливу борошна тефу на технологічні властивості тіста та якість готового хліба.

Зокрема, встановлено, що додавання борошна тефу у кількості 10% і 20% до маси пшеничного борошна знижує кількість, пружність і розтяжність клейковини, а також робить тісто більш пластичним. Альвеографічні випробування підтвердили, що при вмісті тефу 20% пружність тіста знижується найбільше.

Для оптимізації властивостей тіста дослідники застосували біотехнологічний підхід, використовуючи спеціальну закваску на основі молочнокислих бактерій «Біолайт». Це дозволило поліпшити структурно-механічні показники тіста та підвищити харчову цінність готового хліба. Зокрема, питомий об'єм хліба зріс на 4,0%, а кислотність – на 2,9% у порівнянні з контрольними зразками. Випечений хліб відрізнявся приємним горіховим ароматом і смаком.

Важливо зазначити, що дослідження встановило тісний кореляційний зв'язок між відсотком внесення борошна тефу

та характеристиками тіста: коефіцієнт кореляції між відсотком внесення та розпливанням кульки тіста склав $r = 0,98$, а між відсотком внесення та формостійкістю хліба – $r = -0,95$. Це дало змогу рекомендувати випікання хліба з тефом саме формовим способом.

Графік. Покриття добових потреб при споживанні хліба з 10% тефу.

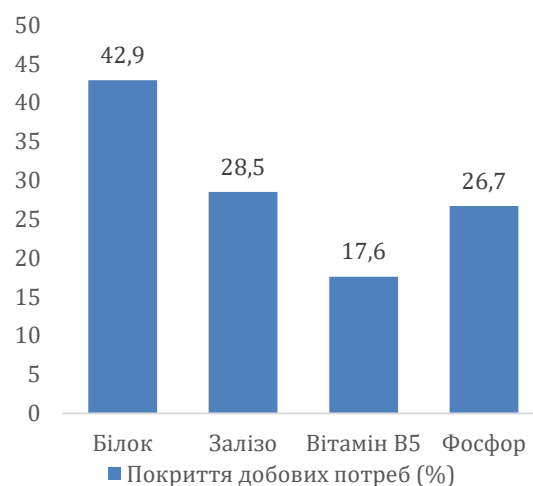


Рис. 1.2. Добове споживання хліба

Крім того, за розрахунками, добове споживання такого хліба дозволяє суттєво покривати потреби організму у білку (42,9-49,8%), залізі (28,5-32,3%), вітаміні В5 (17,6-24,2%) та фосфорі (26,7%), що є важливим для підтримання здоров'я,

особливо у групах населення з підвищеною потребою в білку, графічно зображено на рис. 1.2. [27].

Таким чином, результати досліджень демонструють ефективність використання борошна тефу у виробництві пшеничного хліба, що дозволяє покращити не лише харчову цінність, а й органолептичні показники готового продукту.

Використання фітодобавки з проростків пшениці

Окремим прикладом сучасного підходу до підвищення оздоровчих властивостей хліба є дослідження впливу фітодобавки з зелених паростків пшениці на властивості пшеничного хліба [28]. Для виготовлення хліба використовували різні кількості фітодобавки – 70, 140 та 210 мл на виріб, див. таблицю 1.2. Дослідження показали, що додавання фітодобавки активує ферментативну активність дріжджів, скорочуючи час підйому кульки тіста з 61,5 хв до 24-32 хв. Екстракт фітодобавки збагачує поживне середовище тіста макро- та мікроелементами (Калій, Магній, Цинк, Купрум, Ферум), вітамінами та амінокислотами, які беруть участь в окисно-відновних процесах і покращують активність дріжджів.

Таблиця 1.2

Рецептури хліба пшеничного

Сировина	Фітодобавка 70 мл на виріб	Фітодобавка 140 мл на виріб	Фітодобавка 210 мл на виріб
Борошно пш. в.с., г	1100	1100	1100
Сіль, г	15	15	15
Дріжджі пресовані, г	7,5	7,5	7,5
Вода, мл	470	360	290

Органолептичні властивості хліба з фітодобавкою також покращуються: м'якуш стає більш еластичним, а його колір набуває приємного світло-зеленого відтінку. Фізико-хімічні показники виробів демонструють підвищення пористості (з 71,78% у контрольному зразку до 74,21% при додаванні 140 мл фітодобавки) та зростання вмісту вітаміну С (від 0,4 до 3,8 мг/100 г). Крім того, додавання фітодобавки сприяє покращенню профілю мікроелементів: вміст Цинку зростає з 3,9 до 9,3 мг/кг продукту. Проте спостерігається відхилення за

показником Плюмбу, що пов'язано з якістю сировини, а не з фітодобавкою. Результати наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Фізико-хімічні показники готового хліба

Назва показника	Значення показників якості дослідженого хліба			
	без добавки	70 мл добавки	140 мл добавки	210 мл добавки
Пористість, %	71,78	73,15	74,21	72,18
Вологість, %	43,11	43,23	43,01	45,67
Кислотність, град.	2,4	1,9	2,0	1,8
Вміст вітаміну С у 100 г продукту, мг	0,4	0,8	1,9	3,8

Таким чином, результати дослідження підтверджують ефективність використання фітодобавки з паростків пшениці для підвищення харчової цінності, поліпшення структурно-механічних та органолептичних властивостей хліба. Це є ще одним прикладом інноваційних рішень у виробництві функціонального пшеничного хліба з покращеними оздоровчими властивостями [28].

1.6 Стан питання щодо використання протеїнів у хлібопекарській промисловості

Використання білкових компонентів у хлібопекарській промисловості є одним із ключових напрямів у створенні функціональних продуктів харчування. Дослідження показують, що додавання рослинних протеїнів до хліба дозволяє значно підвищити його харчову цінність, зокрема за рахунок збагачення амінокислотами, вітамінами та мікроелементами.

Традиційно в хлібопекарській промисловості використовуються такі білкові добавки:

- Соевий протеїн – має високу біологічну цінність, проте його застосування обмежується специфічним смаком і можливими алергічними реакціями.
- Пшеничний глютен – застосовується для поліпшення структурно-механічних властивостей тіста та підвищення його еластичності.

- Гороховий протеїн – характеризується хорошою засвоюваністю та збалансованим амінокислотним складом.

На сучасному етапі активно вивчаються нетрадиційні джерела білка, зокрема протеїни коноплі, гарбузового насіння та інші рослинні білки [29, 30, 13]. Такі добавки вирізняються гіпоалергенністю, екологічною безпекою та багатим амінокислотним профілем.

Дослідження показали, що додавання рослинних протеїнів може впливати на:

- **Покращення харчової цінності хліба.**

Рослинні протеїни містять широкий спектр незамінних амінокислот, що робить хліб більш повноцінним з точки зору білкового складу. Зокрема, додавання конопляного протеїну забезпечує надходження таких важливих амінокислот, як лізин, метіонін і триптофан, які у звичайному пшеничному борошні представлені у недостатніх кількостях [31]. Крім того, конопляний протеїн є джерелом важливих мінералів (залізо, магній, цинк) та вітамінів (групи В, Е), що сприяє збагаченню готового виробу та його оздоровчим властивостям [29, 32].

- **Зміну структурно-механічних властивостей тіста.**

Рослинні протеїни можуть частково заміщувати клейковинний каркас пшеничного борошна. Наприклад, дослідження свідчать, що введення протеїну коноплі у кількості до 10% знижує загальну кількість клейковини, але водночас покращує її якість – формується більш стабільна білкова матриця, що краще утримує гази під час бродіння [13]. Це сприяє підвищенню об'єму хліба та утворенню дрібнопористої, ніжної текстури м'якушки [32]. Однак при перевищенні рекомендованої дози (понад 10-15%) можуть виникати проблеми з утворенням міцного каркасу тіста, що призводить до зниження формостійкості готового виробу [31].

- **Органолептичні показники.**

Додавання рослинних протеїнів, зокрема конопляного, впливає на смак, аромат і колір хліба. Конопляний протеїн має виражений горіховий присмак та характерний зелений відтінок, які можуть бути як перевагою, так і викликом для

виробників [29]. Це вимагає ретельного контролю дозування та балансу рецептури, щоб забезпечити прийнятний і привабливий для споживача смак. Крім того, збалансоване використання протеїнів дозволяє уникнути появи надмірної щільності або сухості м'якушки, що також впливає на споживчі якості хліба [31].

1.7 Хімічний склад і властивості конопляного протеїну за даними наукових джерел

Конопляний протеїн, отриманий із насіння *Cannabis sativa L.*, є цінним джерелом рослинного білка з високою харчовою та функціональною цінністю.

Конопляний протеїн отримують шляхом подрібнення насіння технічної коноплі [29, 30]. Він містить усі незамінні амінокислоти, включаючи аргінін, лізин та глютамін [31, 33].

Загальний хімічний склад:

Конопляний протеїн містить близько 50% білка, 12% жирів та 26% вуглеводів. Основними білками є едестин (60-80%) та альбумін (13-25%), які легко засвоюються організмом. Схематично відображено на рис. 1.3.

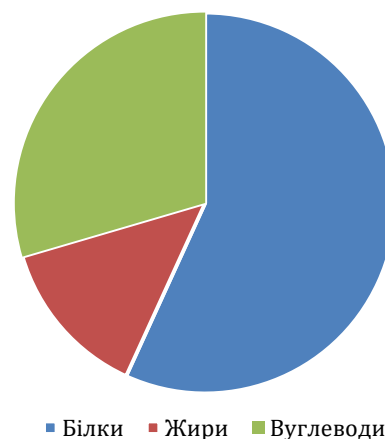


Рис. 1.3. Хімічний склад конопляного протеїну

Цей протеїн є повноцінним, оскільки містить усі дев'ять незамінних амінокислот. Особливо багатий на аргінін (3,35%), глютамінову кислоту (5,31%) та лейцин (1,88%).

Крім білків, конопляний протеїн містить значну кількість мінералів, таких як залізо, магній, цинк, фосфор і калій, а також вітміни групи В і Е [33].

Фізико-хімічні властивості:

Конопляний протеїн має високу розчинність у воді, особливо при рН 4,5-5,0, що сприяє його використанню в різних харчових продуктах. Він також характеризується високою здатністю до емульгування та піноутворення, що є важливими технологічними властивостями у виробництві хлібобулочних виробів.

Завдяки високому вмісту сірковмісних амінокислот, таких як метіонін і цистеїн, конопляний протеїн сприяє утворенню дисульфідних зв'язків, що покращує структуру та стабільність тіста [31].

Порівняння з іншими рослинними протеїнами:

У порівнянні з соєвим протеїном, конопляний має кращу засвоюваність і менший вміст антинутрієнтів, таких як фітати та інгібітори трипсину. Також він не містить глютену, що робить його придатним для осіб з целиакією або глютенною непереносимістю.

Загалом, конопляний протеїн є перспективним інгредієнтом для збагачення хлібобулочних виробів, забезпечуючи не лише підвищену харчову цінність, але й покращені технологічні властивості тіста [34].

Висновки до розділу 1

На основі цих літературних джерел можемо встановити, що технологія виробництва пшеничного хліба значною мірою залежить від біотехнологічної активності хлібопекарських дріжджів, їх расових та штамових особливостей, умов бродіння та способів активації. Спиртове бродіння, зумовлене дією ферментативних комплексів дріжджів, та є ключовим процесом формування об'єму, структури, смаку та аромату хліба.

Показано, що широке застосування рослинної сировини (овочеві, фруктові, ягідні порошки та сиропи, шроти, насіння, нетрадиційні види зернових тощо) у хлібопекарській промисловості дозволяє підвищити біологічну цінність виробів, збагачуючи їх вітамінами, мінералами, антиоксидантами та харчовими волокнами. Такі добавки також сприяють покращенню органолептичних показників та подовженню терміну зберігання хліба.

Узагальнено, що збагачення хлібобулочних виробів нутрієнтами (білками, харчовими волокнами, вітамінами, мінералами) є ефективним засобом формування функціональних продуктів. Особливе значення мають білкові ізоляти та концентрати, харчові волокна, інουλін, мінерально-вітамінні премікси та нетрадиційна рослинна сировина, за умови урахування технологічних факторів збереження їх біологічної активності.

Встановлено, що застосування різних методів активації дріжджів (використання живильних середовищ на основі рослинної сировини, фізико-хімічні методи впливу) дозволяє підвищити їхню піднімальну силу, інтенсифікувати процес бродіння та покращити структурно-механічні й органолептичні властивості хліба, одночасно зменшуючи витрати дріжджів у рецептурі.

Проаналізовані наукові підходи до підвищення оздоровчих властивостей хліба (використання рослинних протеїнів, мінеральних добавок, харчових волокон, борошна тефу, фітодобавок із проростків пшениці тощо) підтверджують доцільність поєднання біотехнологічних рішень із збагаченням рецептури функціональними інгредієнтами для створення продуктів із підвищеною харчовою та біологічною цінністю.

Окремо підкреслено перспективність використання протеїнів коноплі як нетрадиційного джерела високоякісного рослинного білка з повноцінним амінокислотним складом, наявністю мінеральних речовин та вітамінів, а також сприятливими функціонально-технологічними властивостями. Це обґрунтовує доцільність подальших експериментальних досліджень щодо удосконалення технології пшеничного хліба із застосуванням конопляного протеїну.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкти дослідження

У дослідженні були використані основні сировинні інгредієнти, характерні для виробництва пшеничного хліба, збагаченого конопляним протеїном. Вибір об'єктів дослідження обумовлений їхнім впливом на структурно-механічні та органолептичні властивості тіста й готового хліба, а також на підвищення його харчової та біологічної цінності. Дослідження об'єктів дозволило оцінити їхню взаємодію у процесі приготування тіста та випікання, а також визначити оптимальні умови для виробництва хліба підвищеної функціональної цінності.

Сировина та матеріали, які використовуються у виробництві хлібобулочних виробів, повинні відповідати встановленим державним стандартам та мати супровідні документи, що підтверджують їх якість, а також висновки державної санітарно-епідеміологічної експертизи.

Якість сировини та матеріалів контролюється вибіркоким методом відповідно до чинних норм.

Допускається заміна окремих інгредієнтів у рецептурі за умови дотримання вимог щодо взаємозамінності та збереження необхідних органолептичних і фізико-хімічних характеристик готових виробів.

В якості предметів дослідження використовувались:

2.1.1 Борошно пшеничне, вищого ґатунку.

Склад: борошно пшеничне з м'яких сортів пшениці (100%).

Країна виробництва: Україна.

ГСТУ: 46.004-99 [35].

Борошно пшеничне є основним рецептурним компонентом для виготовлення хлібобулочних виробів. Воно характеризується високими хлібопекарськими властивостями, які визначаються, зокрема, білково-протеїназним і вуглеводно-амілазним комплексами. Ці комплекси включають у себе білки та ферменти, що впливають на крохмаль та білки під час замісу та бродіння тіста.

Ключову роль у формуванні структури та якості хліба відіграють білки, зокрема гліадин і глютенін, що складають 79,5% білків, утворюючи міцну клейковинну сітку. Вони формують каркас тіста, надаючи йому необхідну пружність, еластичність та пористість.

Завдяки цим властивостям, борошно пшеничне є основою для створення якісного хліба з оптимальними органолептичними показниками. У таблиці 2.1 наведено поживну та енергетичну цінність борошна.

Таблиця 2.1

Борошно пшеничне. Поживна та енергетична цінність на 100 г:

Показник	Значення
Енергетична цінність	1397 кДж (334 ккал)
Жири	1,1 г
з них насичені	0,2 г
Вуглеводи	70,0 г
з них цукри	1,3 г
крохмаль	68,7 г
Білки	10,3 г
Сіль	0,0003 г

2.1.2 Протеїн коноплі.

Країна виробництва: Україна.

Склад: порошок з насіння конопель

Конопляний протеїн, отриманий з насіння *Cannabis sativa L.*, є цінним джерелом рослинного білка з високою біологічною цінністю (81,7%). Він має збалансований амінокислотний профіль, включаючи всі дев'ять незамінних амінокислот. Зокрема, він багатий на аргінін (3589 мг/100 г), лейцин (1458 мг/100 г), лізин (1458 мг/100 г) і триптофан (1056 мг/100 г), що робить його перспективним для збагачення хлібобулочних виробів.

У 100 г конопляного протеїну міститься 45-50 г білків, 14-15 г жирів, 10-11 г вуглеводів, а також 6-7 г клітковини, зокрема поліненасичених жирних кислот (8-9 г), які позитивно впливають на здоров'я серцево-судинної системи. Його мінеральний склад збагачений макро- та мікроелементами: фосфор (15 г/кг), магній (3 г/кг), кальцій (2 г/кг), цинк (179 мг/кг), ферум (121 мг/кг), манган

(97 мг/кг), купрум (20 мг/кг) та кобальт (1 мг/кг). Завдяки цьому конопляний протеїн є не лише джерелом білків, але й багатим постачальником життєво важливих мінералів для організму.

Конопляний протеїн має високі технологічні властивості – добра розчинність та здатність до емульгування, що робить його зручним у застосуванні у хлібопекарських технологіях. З точки зору технології хлібопечення, додавання конопляного протеїну до рецептури тіста може впливати на покращення амінокислотного складу виробів, збільшення харчової цінності та надання готовому продукту додаткових функціональних властивостей.

Таблиця 2.2

Протеїн коноплі. Поживна цінність на 100 г:

Показник	Значення
Енергетична цінність	377 ккал
Біологічна цінність	81,7%
Білки	45-50 г
Вуглеводи	10-11 г
Жири	14-15 г
- Клітковина	6-7 г
- Поліненасичені	8-9 г
- Мононенасичені	1-2 г
- Насичені	4-5 г

Таблиця 2.3

Масова частка мінеральних речовин на 100 г:

Показник	Значення
Фосфор	1500 мг
Кальцій	200 мг
Магній	300 мг
Ферум	12,1 мг
Цинк	17,9 мг
Кобальт	0,1 мг
Манган	9,7 мг
Купрум	2.0 мг

Таблиця 2.4

Вміст амінокислот (мг/100г)

Амінокислота	Вміст (мг/100 г)
Аланін	1556
Аргінін	3589
Аспарагінова кислота	2263
Валін	885
Гліцин	782
Глутамінова кислота	4445
Ізолейцин	782
Лейцин	1458
Лізин	1458
Метіонін	686
Пролін	518
Серин	1597
Треонін	1078
Триптофан	1056
Фенілаланін	1350
Цистеїн	594

Наведені значення хімічного складу, амінокислотного профілю та мінерального складу конопляного протеїну у таблицях 2.2 - 2.4 отримані на основі технічної документації виробника, даних з упаковки та офіційного сайту продукту.

Слід зазначити, що харчовий конопляний протеїн виготовляють виключно з насіння технічних сортів конопель, які **не містять психоактивних речовин**. У процесі переробки насіння додатково очищуються від оболонки, що повністю виключає наявність тетрагідроканабіолу (ТГК) у готовому продукті, що підтверджує його безпечність для використання у харчових технологіях.

2.1.3 Дріжджі пресовані хлібопекарські.

Склад: дріжджі сахароміцети (*Saccharomyces cerevisiae*).

ДСТУ: 4812-2007 [36].

Дріжджі пресовані хлібопекарські є важливим біотехнологічним компонентом у виробництві пшеничного хліба. Вони виконують роль біологічного розпушувача тіста, забезпечуючи процес бродіння та утворення діоксиду вуглецю. Завдяки цьому формується характерна пориста структура хліба та його об'єм.

Основу таких дріжджів складають культури *Saccharomyces cerevisiae*, які мають високі показники ферментативної активності та життєздатності. Ці дріжджі характеризуються високою підйомною силою, що забезпечує ефективне зброджування цукрів, наявних у тісті.

Якість і бродильна активність дріжджів значною мірою залежать від складу поживного середовища, умов культивування, а також від особливостей рас і штамів дріжджових культур. Зокрема, до найважливіших показників якості належать вологість (68-75%), вміст білкових речовин (37-50%), активність зимазного та мальтазного комплексів, а також стійкість до впливу солі та інших факторів технологічного процесу.

Пресовані дріжджі застосовуються в кількості, що відповідає технологічним нормам і забезпечує оптимальні умови для бродіння тіста та формування високоякісного хліба.

2.1.4 Вода питна.

ДСанПіН 2.2.4-171-10 [37].

Вода питна є обов'язковим складовим елементом приготування тіста та важливою частиною рецептури хлібобулочних виробів. Її якість має значний вплив на біохімічні та фізико-хімічні процеси у тісті. Вода забезпечує оптимальні умови для розвитку дріжджових клітин, сприяє рівномірному розчиненню інгредієнтів та формуванню структури тіста.

Під час замісу вода активізує гідратацію білків, сприяючи утворенню клейковинного каркасу, який формує пружність і еластичність тіста. Крім того,

вода є розчинником для цукрів, солей та інших складників тіста, а також регулює консистенцію та в'язкість тіста.

У дослідженні використовувалась питна негазована вода, яка відповідає санітарно-гігієнічним вимогам та показникам безпеки, табл. 2.5. Якість води контролюється згідно з ДСанПіН (Державні Санітарні Правила і Норми) [37].

Таблиця 2.5

**Фактичні значення показників фізіологічної повноцінності
мінерального складу води.**

Найменування показників	Одиниця виміру	Фактичні значення
Загальна жорсткість	ммоль/л	1,5
Загальна лужність	ммоль/л	1,3
Йод	мкг/л	7,5
Калій	мг/л	0,4
Кальцій	мг/л	40
Магній	мг/л	6,0
Натрій	мг/л	2,3
Сухий залишок	мг/л	114
Фториди	мг/л	0,07

2.1.5 Сіль кухонна кам'яна

Згідно з ДСТУ 3583:2015 [38].

Сіль кухонна є незамінною складовою приготування тіста для хлібобулочних виробів. Вона не лише додає смаку готовому хлібу, але й бере участь у регуляції активності ферментів, процесів бродіння, а також впливає на утворення клейковинового каркасу.

Сіль стабілізує клейковину сітку, підвищує її пружність і міцність, сприяючи отриманню якісної структури м'якушки. Крім того, сіль уповільнює активність ферментів амілаз, що запобігає надмірному розщепленню крохмалю та підтримує оптимальні умови для роботи дріжджів.

2.1.6 Цукор

Згідно з ДСТУ 4623:2023 [39].

Цукор відіграє важливу роль у технології виробництва хлібобулочних виробів. Він не тільки додає солодкуватий відтінок смаку, але й бере безпосередню участь у ключових мікробіологічних і біохімічних процесах під час приготування тіста.

У процесі бродіння цукор служить джерелом поживних речовин для дріжджів, стимулюючи їх активність та підвищуючи інтенсивність газоутворення. Це важливо для утворення пухкої структури м'якушки й підвищення об'єму готових виробів. Цукор також бере участь у перетвореннях під час спиртового бродіння, у результаті яких виділяються діоксид вуглецю й етиловий спирт – продукти, що визначають кінцеві властивості тіста.

Додатково, під час випікання відбуваються реакції Майяра – взаємодія цукрів з амінокислотами, що сприяє утворенню привабливої золотистої скоринки та покращує аромат хліба. Ці процеси надають виробам приємного смаку, кольору та забезпечують стабільність структури м'якушки.

2.1.7 Олія соняшникова рафінована

Згідно з ДСТУ 4492:2017 [40].

Олія є важливим компонентом у виробництві пшеничного хліба, де вона виконує не лише роль джерела жирів, а й впливає на фізико-хімічні та органолептичні властивості тіста і готових виробів. Завдяки олії структура м'якушки стає більш ніжною, а скоринка – тонкою та хрусткою. Олія знижує в'язкість тіста, покращує його розтяжність і забезпечує рівномірну пористість.

Жири також сповільнюють процеси черствіння хліба, підвищуючи термін його зберігання. Це пов'язано зі здатністю жирів уповільнювати ретроградацію крохмалю. Крім того, вони беруть участь у формуванні смакових якостей і аромату хлібобулочних виробів, роблячи їх більш привабливими для споживача.

Поживна та енергетична цінність наведена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Олія соняшникова. Поживна та енергетична цінність на 100 г:

Показник	Значення
Енергетична цінність	900 ккал
Білки	0 г
Жири	99,9 г
- Насичені	11 г
- Мононенасичені	29 г
- Поліненасичені	60 г
Вуглеводи	0 г
Вітамін Е	60 мг

Обрані компоненти відповідають вимогам чинних стандартів та характеризуються високою якістю. Їх комплексне застосування дозволяє забезпечити оптимальні умови для приготування тіста та отримання хліба з покращеними органолептичними і функціональними властивостями.

2.2. Методи дослідження

Для оцінки якості та властивостей хлібобулочних виробів із додаванням конопляного протеїну використовувались різні методи дослідження, які дозволяють комплексно визначити характеристики дослідних зразків.

Методи дослідження, які плануються використати в даній роботі, наведено на рисунку 2.1.

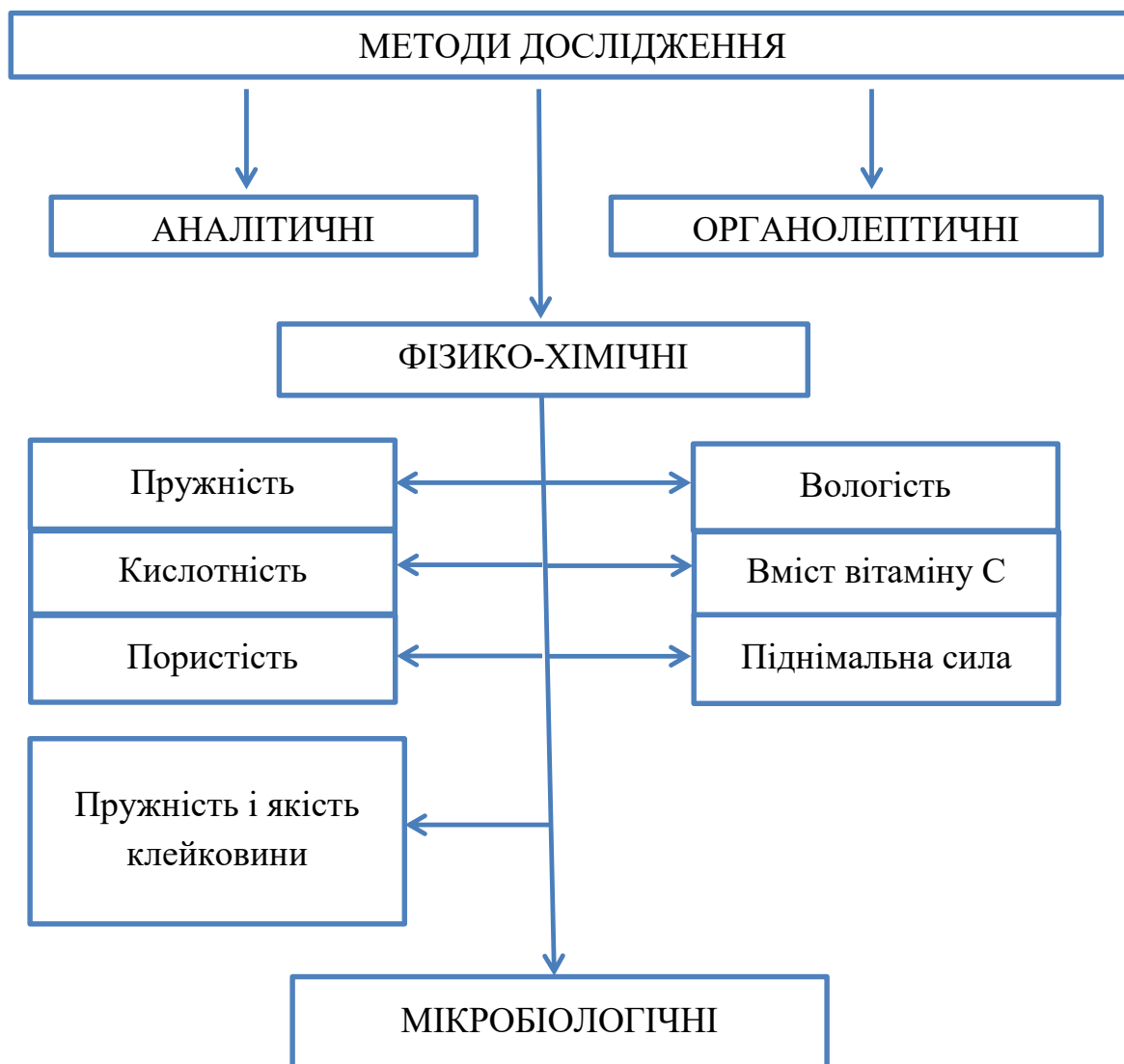


Рис. 2.1. Методи експериментальних випробувань.

Аналітичні методи – передбачають лабораторний аналіз складу дослідних зразків (визначення білків, жирів, вуглеводів, мікро- та макроелементів, амінокислотного профілю).

Органолептичні методи – оцінювання смакових, ароматичних, текстурних і зовнішніх характеристик хліба.

Фізико-хімічні методи використовувались для визначення структурно-механічних і якісних характеристик дослідних зразків хліба, зокрема оцінки пружності, кислотності, пористості, вологості, вмісту вітаміну С, піднімальної сили тіста, а також пружності та якості клейковини, що дозволяє комплексно оцінити технологічні властивості та якість готового виробу.

Мікробіологічні методи – дослідження стану дріжджової мікрофлори, оцінка її активності та безпечності готових виробів.

Цей комплекс методів дозволяє всебічно проаналізувати не лише поживну цінність та харчову безпеку хлібобулочних виробів, а й технологічні показники, що забезпечують якість готового продукту.

2.2.1 Аналітичні методи

Визначення білка у конопляному протеїні.

Білки є основним структурним і функціональним компонентом харчових продуктів, визначаючи їхню біологічну цінність і поживну повноцінність. У технології хлібопечення білкові речовини впливають на формування клейковинного каркасу тіста, визначають його пружність і газоутримувальну здатність, а також беруть участь у реакціях, що формують аромат і колір готових виробів.

Для підтвердження білкової природи сировини застосовують якісні реакції на пептидні зв'язки, серед яких найбільш поширеною є біуретова реакція. Її суть полягає у взаємодії пептидних груп із йонами міді(II) у лужному середовищі, внаслідок чого утворюється стійкий комплекс із характерним фіолетовим забарвленням. Інтенсивність кольору відображає кількість пептидних зв'язків і, відповідно, білкову насиченість досліджуваного зразка [41].

Даний етап є важливим, адже він дозволяє не лише теоретично, а й наочно показати високий рівень білкової насиченості сировини, що обґрунтовує доцільність її застосування у виробництві функціонального пшеничного хліба.

Методика проведення.

Для підтвердження наявності білка в конопляному протеїні застосовували біуретову реакцію, яка базується на взаємодії пептидних зв'язків із йонами міді(II) у лужному середовищі.

У пробірки вносили водні розчини конопляного та контрольного (гарбузового) шроту. До кожної пробірки додавали 1 мл 10 % розчину NaOH, після чого обережно вносили кілька крапель 1 % розчину сульфату міді (CuSO₄). Суміш ретельно перемішували струшуванням. Схема реакції наведена в рисунку 2.2.

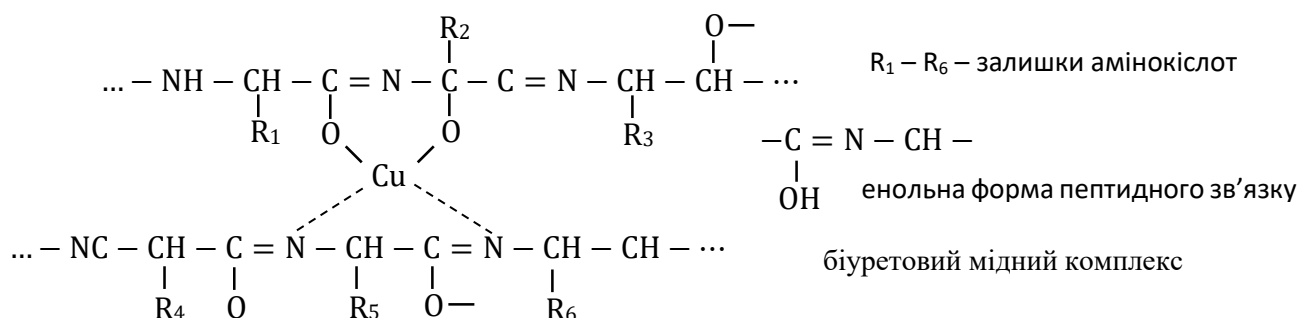


Рис. 2.2. Схема координації пептидних груп із Cu²⁺

Поява яскраво-фіолетового забарвлення свідчила про наявність білка у зразку, оскільки пептидні зв'язки білкових молекул утворюють із йонами Cu²⁺ характерний комплекс.

Визначення вмісту вільних амінокислот у конопляному протеїні методом формольного титрування.

Для хлібопекарського виробництва вміст вільних амінокислот у сировині має подвійне значення. По-перше, вони підвищують харчову цінність готового продукту, роблячи його джерелом легкозасвоюваних білкових сполук. По-друге, амінокислоти є важливим фактором активації життєдіяльності дріжджів: вони стимулюють ріст і бродильну активність клітин, забезпечуючи інтенсивне газоутворення у тісті та формування якісної структури м'якуша.

У нашому дослідженні вміст вільних амінокислот у конопляному протеїні визначали методом формольного титрування. Цей метод ґрунтується на здатності аміногруп взаємодіяти з формальдегідом, утворюючи метиленамінокислоти, що дозволяє провести кількісне титрування і визначити фактичну кількість вільних амінокислот у зразку, див. рис. 2.3 [41].

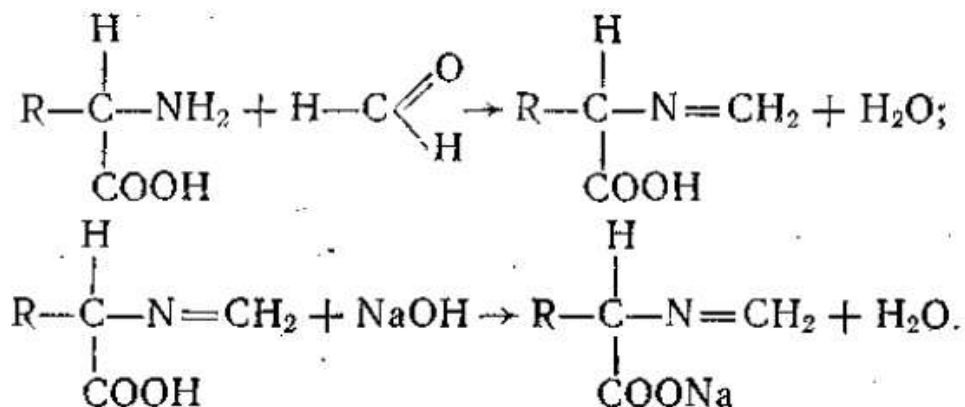


Рис. 2.3 Механізм формольного титрування амінокислот (утворення метиленамінокислот і подальше титрування NaOH)

Методика проведення.

Визначення вільних амінокислот у конопляному протеїні здійснювали методом формольного титрування. Принцип методу ґрунтується на взаємодії аміногруп амінокислот із формальдегідом, у результаті чого утворюються метиленамінокислоти. Це призводить до втрати буферних властивостей аміногруп і дає можливість кількісно визначити їх вміст шляхом титрування лугом.

Масову концентрацію амінокислот (мг/мл) визначають за формулою:

$$C = \frac{(A-B) \cdot f \cdot Q}{V};$$

де:

- А і В – об'єми розчину NaOH, витрачені на титрування зразка і контрольної проби (мл);
- f – фактор титранту;
- Q – маса навішування (г) або об'єм розчину;
- V – об'єм досліджуваного розчину (мл).

Хід аналізу:

- 1,0 г конопляного шроту розчиняли у 100 мл дистильованої води.
- До розчину додавали фенолфталеїн як індикатор, титрували розчином NaOH до появи слабкого рожевого забарвлення.

- Далі вносили 10 мл нейтрального формаліну (формальдегідної суміші), при цьому рожеве забарвлення зникало внаслідок реакції з аміногрупами.
- Після цього зразок повторно титрували розчином NaOH до появи стійкого рожевого відтінку.
- Фіксували об'єм лугу, витрачений на титрування, за яким обчислювали кількість вільних амінокислот у зразку.

Визначення вмісту флавоноїдів у конопляному протеїні.

Флавоноїди – це група поліфенольних сполук рослинного походження, які відіграють важливу роль завдяки своїм антиоксидантним, протизапальним та стабілізуючим властивостям. Їх наявність у харчових продуктах сприяє підвищенню біологічної цінності, уповільнює процеси окиснення та черствіння, а також позитивно впливає на органолептичні характеристики.

У нашому дослідженні визначення вмісту флавоноїдів у конопляному протеїні має практичне значення, оскільки ці сполуки здатні підсилювати функціональність пшеничного хліба. Ми прагнемо оцінити, як наявність флавоноїдів у білковій добавці може покращити стійкість тіста до окислювальних процесів, зберегти якість виробів у процесі зберігання та надати їм додаткових оздоровчих властивостей. Таким чином, даний етап дослідження є важливою складовою у створенні функціонального продукту з підвищеною харчовою та біологічною цінністю [18].

Визначення вмісту флавоноїдів здійснювали за **методом Левенталю**, який відноситься до спектрофотометричних методів аналізу. Принцип методу полягає у здатності флавоноїдів утворювати з солями алюмінію (зокрема, хлоридом алюмінію) стійкі комплекси, що мають характерне жовто-оранжеве забарвлення. Інтенсивність цього забарвлення прямо пропорційна концентрації флавоноїдів у досліджуваному зразку. Вимірювання проводили на спектрофотометрі при довжині хвилі 410 нм.

Метод Левенталю застосовується завдяки своїй простоті, достатній точності й відтворюваності. Його використання дозволяє кількісно оцінити вміст поліфенольних сполук у конопляному протеїні та підтвердити його

перспективність як функціональної харчової добавки у технології пшеничного хліба [41].

Методика проведення.

Визначення вмісту флавоноїдів у конопляному протеїні здійснювали за методом Левенталю, що ґрунтується на утворенні стійкого забарвленого комплексу між флавоноїдами та солями алюмінію. Інтенсивність забарвлення прямо пропорційна кількості цих сполук у зразку і визначається спектрофотометрично при довжині хвилі 410 нм. Метод характеризується відносною простотою виконання, достатньою точністю та відтворюваністю, тому широко використовується у харчовій хімії та біотехнології для оцінки поліфенольних сполук у рослинній сировині.

Для аналізу готували водний екстракт конопляного протеїну. 2 г зразка заливали 50 мл гарячої води, після чого кип'ятили протягом 5 хв. Отриманий розчин охолоджували та фільтрували через паперовий фільтр.

Відібраний 10 мл фільтрату змішували з 10 мл води та додавали 5 крапель індігокарміну як індикатора. Далі суміш титрували 0,01 N розчином перманганату калію (KMnO_4) до появи стійкого жовтого забарвлення.

Отримані значення витрати титранту використовували для розрахунку кількісного вмісту флавоноїдів, який виражали у мікрограмах на 100 г сухого протеїну.

Вміст флавоноїдів обчислюємо за формулою:

$$X = \frac{A \cdot V_1 \cdot k}{V_2 \cdot P}$$

де

- A – об'єм 0,01 M (0,01 N) розчину KMnO_4 , витрачений на титрування, мл;
- V_1 – загальний об'єм екстракту, мл;
- k – коефіцієнт перерахунку (кількість рутину, що відповідає 1 мл титранту, згідно методики);
- V_2 – об'єм екстракту, узятий на аналіз, мл;
- P – маса навішування зразка, г.

Кількісне визначення вітаміну С.

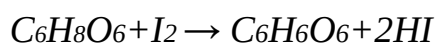
Вітамін С (аскорбінова кислота) є одним із найважливіших водорозчинних вітамінів, який виконує в організмі людини антиоксидантну, імуномодулюючу та метаболічну функції. Він бере участь у синтезі колагену, підвищує стійкість організму до стресових факторів, сприяє засвоєнню заліза та зниженню ризику серцево-судинних і запальних захворювань.

З технологічної точки зору, наявність вітаміну С у харчових продуктах є важливим показником їхньої біологічної цінності. Крім того, аскорбінова кислота здатна виконувати роль природного антиоксиданту у тісті та готових хлібобулочних виробах, уповільнюючи процеси окиснення і черствіння.

У нашому дослідженні кількісне визначення вітаміну С у конопляному протеїні проводили з метою оцінки його потенціалу як функціональної добавки у рецептурі пшеничного хліба. Це дозволяє з'ясувати, наскільки використання конопляного протеїну може сприяти збагаченню готових виробів вітаміном С та підвищенню їхньої харчової та оздоровчої цінності [41].

Методика проведення.

Вміст вітаміну С у конопляному протеїні визначали методом йодометричного титрування. Суть методу полягає у відновленні аскорбінової кислоти до дегідроаскорбінової кислоти у реакції з йодом:



При титруванні розчин йоду поступово знебарвлюється, а момент закінчення реакції визначається появою стійкого синього забарвлення у присутності індикатора – крохмалю.

Для аналізу брали 2,0 г конопляного протеїну, який розчиняли у 20 см³ 2% розчину метафосфорної кислоти. Суміш перемішували та фільтрували через паперовий фільтр. Із фільтрату відбирали 10 см³, до яких додавали 10 см³ дистильованої води та 2 см³ 1% розчину крохмалю. Далі проводили титрування 0,001 н розчином йоду до появи стійкого синього забарвлення, яке не зникало протягом 30 секунд.

Кількісний вміст аскорбінової кислоти (M) розраховували за формулою:

$$M = \frac{n \cdot E \cdot V}{1000},$$

де:

M – маса аскорбінової кислоти (г),

n – молярна концентрація еквівалента йоду,

E – молярна маса еквівалента аскорбінової кислоти в г, (88 г),

V – об'єм витраченого на титрування йоду, у мл.

Отримані значення перераховували на масу хліба у 100 г.

Обчислювали вміст вітаміну С (X) у 100 г продукту:

$$X = \frac{M \cdot 1000}{P},$$

де:

X – вміст вітаміну С у 100 г продукту (г),

M – маса аскорбінової кислоти (г),

P – маса навішування зразка, (г).

2.2.2 Мікробіологічні методи

Оцінка якості конопляного протеїну за мікробіологічними показниками.

Мікробіологічна безпека харчової сировини є одним із ключових факторів, що визначають якість та безпечність готових продуктів. У хлібопекарному виробництві мікроорганізми відіграють подвійну роль: корисні культури, зокрема дріжджі та молочнокислі бактерії, забезпечують перебіг бродильних процесів, тоді як стороння мікрофлора може спричиняти псування тіста, зниження органолептичних характеристик і скорочення терміну зберігання виробів.

Особливу увагу привертають рослинні добавки, які включаються до рецептури хліба. Вони здатні підвищувати харчову та біологічну цінність продукту, проте водночас можуть бути джерелом сторонніх мікроорганізмів. Тому контроль мікробіологічних показників конопляного протеїну є важливим етапом дослідження, який дозволяє оцінити його придатність для безпечного використання у технології виробництва пшеничного хліба.

Методика проведення.

Мікробіологічну оцінку конопляного протеїну проводили методом **суцільного посіву шпателем Дригальського** на поживне середовище, див. рис. 2.4. Цей метод широко застосовується для виявлення сторонньої мікрофлори у харчовій сировині та дозволяє визначити як морфологію колоній, так і рівень мікробного обсіменіння. [42]

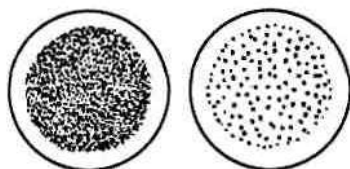


Рис. 2.4. Суцільний посів шпателем Дригальського

Для аналізу готували вихідне розведення протеїну у співвідношенні 1:10. Із отриманої суспензії відбирали 1 мл, який рівномірно розподіляли по поверхні м'ясо-пептонного агару (МПА) за допомогою стерильного шпателя Дригальського. Чашки Петрі інкубували у термостаті при температурі 35 °C протягом 72 годин.

Після закінчення інкубації проводили аналіз:

- визначали морфологічні ознаки колоній (зморшкуваті, слизові, пігментовані);
- перевіряли морфологію клітин під мікроскопом (форма, розміри, наявність спор);
- підраховували кількість колоній для оцінки ступеня мікробного обсіменіння.

У дослідженні особливу увагу приділяли наявності бактерій роду *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. mesentericus*), а також пліснявих грибів (*Fusarium*), які найчастіше є показниками мікробіологічного псування борошна і рослинних домішок.

Виявлення морфологічних ознак дріжджових клітин.

Мікроскопічний аналіз дріжджових клітин є одним із основних методів оцінювання їхнього фізіологічного стану, життєздатності та здатності до активного бродіння. Для хлібопекарської промисловості цей показник має

важливе значення, оскільки інтенсивність газоутворення та якість підйому тіста безпосередньо залежать від морфологічного та функціонального стану дріжджів.

Основним видом дріжджів, що застосовується у хлібопеченні, є *Saccharomyces cerevisiae*. Їхні морфологічні характеристики добре описані в науковій літературі і слугують базою для оцінювання культури під час лабораторного контролю [18].

Методика визначення морфологічних ознак ґрунтується на використанні світлової мікроскопії. Для виготовлення мікропрепарату невелику кількість дріжджової суспензії наносять на предметне скло, додають краплю розчину метиленового синього та накривають покривним склом. Дослідження проводять під збільшенням 400-1000×. Живі клітини залишаються світлими, тоді як мертві інтенсивно забарвлюються, що дає змогу оцінити життєздатність культури. Одночасно аналізують форму та розміри клітин, інтенсивність брунькування та загальний характер клітинного поля.

Морфологічне оцінювання дозволяє встановити фізіологічний стан дріжджів, їхню реакцію на середовище та потенційні зміни, спричинені додаванням різних інгредієнтів, у тому числі й рослинних білкових добавок. Завдяки цьому методу можна прогнозувати активність дріжджів у тісті, їхню здатність до ефективного газоутворення та участі у ферментаційних процесах. Таким чином, морфологічний аналіз є важливим інструментом контролю якості дріжджової сировини та необхідною складовою технологічного контролю у хлібопекарському виробництві.

Визначення ферментативної активності дріжджів.

Ферментативна активність хлібопекарських дріжджів є важливим показником їх якості та ефективності у процесі бродіння тіста. Основними параметрами, що характеризують ферментативну активність, є зимазна та мальтазна активність, які визначають здатність дріжджів зброджувати моно- та дисахариди з виділенням вуглекислого газу. Саме цей процес забезпечує розпушення тіста та утворення характерної структури хліба.

Для дослідження використовували мікрогазометр Єлецького – прилад, призначений для визначення газоутворення дріжджів у стандартних умовах.

Метод ґрунтується на вимірюванні об'єму вуглекислого газу, що утворюється в результаті зброджування певного цукру (глюкози або мальтози) протягом визначеного часу. Метод вимірювання відповідає загальноприйнятій методиці роботи, що використовується у хлібопекарських лабораторіях.

Порядок проведення аналізу:

- У склянку мікрогазометра поміщали 0,5 г пресованих дріжджів.
- Додавали 10 см³ води температурою 35 °С та ретельно перемішували для утворення однорідної суспензії.
- До отриманої суспензії додавали 10 см³ 10%-го розчину цукру (глюкоза – для оцінки зимазної активності; мальтоза – для оцінки мальтазної).
- Верхню частину мікрогазометра (манометр) щільно з'єднували зі склянкою. Прилад поміщували в термостат, нагрітий до 30 °С.
- Через 5 хвилин відкривали кран для вирівнювання тиску, після чого його закривали, і починали відлік часу.
- Визначення вважали завершеним, коли в манометричній трубці приладу накопичувалося 10 см³ CO₂.

Інтерпретація результатів:

- Зимазна активність вважається нормальною, якщо дріжджі виділяють 10 см³ CO₂ за 60 хвилин або менше.
- Мальтазна активність – якщо той самий об'єм газу утворюється за 100 хвилин або менше.

У нашому дослідженні метод використовувався для визначення впливу додавання конопляного протеїну у кількості 10 %, 20 % та 30 % до маси борошна на ферментативну активність дріжджів. Це дозволило оцінити, чи впливає новий інгредієнт на процеси спиртового бродіння, та чи зберігають дріжджі свою активність при взаємодії з білково-насиченим середовищем.

2.2.3 Фізико-хімічні методи

Визначення амілазної активності

Амілазна активність характеризує здатність ферментів амілолітичної групи розщеплювати крохмаль до декстринів та цукрів. Даний показник є важливим у дослідженні біохімічних властивостей сировини та допоміжних

компонентів, оскільки рівень активності амілаз впливає на інтенсивність гідролізу полісахаридів, перебіг ферментативних процесів та якість готових харчових продуктів.

Метод визначення амілазної активності може застосовуватися не лише для оцінки активності ферментних препаратів, але й для аналізу рослинних білкових екстрактів, зокрема конопляного протеїну. Цей підхід дозволяє встановити наявність або рівень природних амілолітичних ферментів у сировині.

Визначення амілазної активності здійснювали методом серійних розведень з подальшою оцінкою залишкового крохмалю за реакцією з йодом. Метод ґрунтується на послідовному зменшенні концентрації ферменту в ряді пробірок та виявленні найменшого розведення, при якому відбувається повний гідроліз крохмалю.

Для визначення амілазної активності готували серію водних розведень ферментного матеріалу у співвідношеннях 1:10, 1:20, 1:40, 1:80 та ін. У класичній методиці Вольгемута готують послідовні двократні розведення до значень 1:10240. У випадку рослинних білкових екстрактів, які мають нижчу ферментативну активність, число розведень може бути зменшене, і аналіз проводиться до того максимального розведення, яке зберігає гідролітичну дію.

У кожену пробірку додавали рівні об'єми 0,1% розчину крохмалю, після чого суміші інкубували у термостаті при температурі 38 °C протягом 30 хвилин. Після завершення інкубації у проби вносили краплю 0,1% розчину йоду, що дозволяло візуально оцінити наявність або відсутність нерозщепленого крохмалю за інтенсивністю забарвлення.

Світле забарвлення (солом'яно-жовте або майже безбарвне) свідчить про повний гідроліз крохмалю, темно-синє або фіолетове – про залишковий крохмаль, тобто про знижену активність амілази при даному розведенні.

Амілазну активність (А) виражають об'ємом 0,1 % крохмального розчину, що повністю гідролізується 1 мл дослідного розведення за стандартних умов (38 °C, 30 хв). Розрахунок проводять за формулою:

$$A(38^{\circ}\text{C}/30 \text{ хв}) = 2 \cdot V$$

де:

A – амілазна активність (умовні одиниці),

V – знаменник розведення (10, 20, 40, 80, 160 тощо), у якому реакція з йодом показує повний гідроліз крохмалю [41].

Визначення активності проводять за найвищим розведенням, у якому немає синього забарвлення після взаємодії з йодом.

Такий спосіб розрахунку повністю відповідає методу Вольгемута і рекомендований для визначення амілолітичної активності як тваринних, так і рослинних ферментних систем.

Визначення кислотно-лужного показника (pH) екстракту коноплі

Кислотно-лужний показник (pH) є важливою фізико-хімічною характеристикою, що описує активність водневих іонів у системі та визначає реакцію середовища. Значення pH впливає на розчинність, гідратацію, стабільність і функціональні властивості білкових екстрактів, зокрема конопляного. У білкових системах pH визначає ступінь дисоціації амінокислотних залишків, структуру білкових молекул та їхню здатність до взаємодії з водою й іншими компонентами харчових продуктів.

У наукових роботах встановлено, що білок коноплі демонструє різну поведінку залежно від кислотності середовища: у нейтральних та слаболужних умовах він має вищу розчинність, тоді як у кислому середовищі, поблизу ізоелектричної точки, білкові фракції схильні до осадження. Значення pH екстракту може впливати на водоутримувальну здатність, емульгування та формування білково-клітковинного комплексу в тісті, тому його визначення є важливим етапом при оцінюванні властивостей сировини [43].

У даному дослідженні визначення pH екстракту коноплі є актуальним, оскільки кислотно-лужний показник впливає на технологічні властивості тіста, умови набухання, стабільність білкових фракцій та подальшу поведінку компонентів у процесі замісу й відмивання. Це дозволяє об'єктивно оцінити вплив екстракту на структуроутворення в борошняних системах.

Підготовка проби для визначення рН включала отримання однорідної водної суспензії екстракту. Суху сировину змішували з відміряним об'ємом дистильованої води до рівномірного зволоження, після чого суспензію залишали для стабілізації. Вимірювання проводили за допомогою електронного рН-метра, попередньо відкаліброваного у стандартних буферних розчинах. Електрод занурювали у пробу таким чином, щоб він був повністю покритий, а значення зчитували після стабілізації показника.

Визначення фізико-хімічних показників дріжджів

Фізико-хімічні властивості дріжджів є важливими показниками їхньої технологічної придатності у хлібопекарському виробництві. До основних параметрів, що регламентуються нормативною документацією, належать вологість та кислотність дріжджової маси. Ці показники визначають стабільність дріжджових клітин, їх життєздатність у процесі зберігання та поведінку у тісті. Відповідно до ДСТУ 4812:2007, контроль вологості та кислотності є обов'язковим етапом оцінювання якості пресованих хлібопекарських дріжджів [36].

Вологість пресованих дріжджів.

Вологість дріжджів є одним із ключових критеріїв оцінювання їхньої якості. Надмірна кількість води в дріжджовій масі призводить до зниження активності клітин, прискорення мікробіологічного псування та зменшення терміну зберігання. Оптимальна вологість забезпечує високу ферментативну активність та стабільність дріжджів під час технологічних процесів.

Визначення вологості здійснюють методом висушування проби до сталої маси на приладі Чижової. Метод ґрунтується на видаленні вологи з дріжджової маси при підвищеній температурі, після чого проводять зважування й обчислення масової частки води. Висушування виконують у термостійких паперових пакетах при температурі 160 °С протягом регламентованого часу. Після охолодження в ексікаторі визначають втрату маси, що відповідає кількості випаруваної води.

Показник вологості обчислюють за формулою:

$$W = \frac{(m_1 - m_2) * 100}{m},$$

де:

m_1 – маса пакета з навішуванням дріжджів до висушування, г;

m_2 – маса пакета з навішуванням після висушування, г;

m – маса пустого паперового пакета, г.

Згідно з вимогами ДСТУ 4812:2007, вологість пресованих дріжджів не повинна перевищувати 75 %, що гарантує їхню стабільність та високу підйомну силу.

Кислотність пресованих дріжджів.

Кислотність є показником накопичення органічних кислот у дріжджовій масі, що утворюються внаслідок біохімічних процесів у клітинах під час зберігання. Зростання кислотності свідчить про погіршення фізіологічного стану дріжджів, зниження їх життєздатності та ферментативної активності. Контроль кислотності дозволяє оцінити свіжість дріжджів та ступінь їхнього біохімічного навантаження.

Визначення кислотності проводять методом нейтралізації кислот дріжджової суспензії 0,1 моль/дм³ розчином гідроксиду натрію (NaOH) у присутності індикатора фенолфталеїну. Перехід до ледь рожевого забарвлення свідчить про завершення реакції нейтралізації. Кількість витраченого титранту пропорційна вмісту кислот у пробі.

Кислотність у перерахунку на масу оцтової кислоти визначають за формулою:

$$X = \frac{V * 6 * 100 * K}{10} = 60 * V * K,$$

де:

V – об'єм 0,1 моль/дм³ розчину лугу, витрачений на титрування, мл;

K – поправочний коефіцієнт (для стандартного розчину $K = 1$);

60 – перерахунковий коефіцієнт, що відповідає масі оцтової кислоти у мг, еквівалентній 1 мл лугу.

Нормативна документація встановлює, що кислотність пресованих дріжджів не повинна перевищувати 300 мг оцтової кислоти на 100 г продукту

(при зберіганні за температури 0-4 °C). Перевищення цього показника свідчить про погіршення кислотно-лужного стану дріжджів та зниження їхньої технологічної активності.

Визначення підйимальної сили дріжджів.

Підйимальна сила дріжджів є одним із базових показників, що характеризує їхню біохімічну активність та практичну цінність у хлібопекарському виробництві. Вона відображає здатність дріжджових клітин утворювати достатню кількість вуглекислого газу в процесі бродіння, що безпосередньо впливає на інтенсивність розпушення тіста, його еластичність та кінцевий об'єм готових виробів.

Значення цього показника особливо важливе для прогнозування реологічних властивостей тіста під час вистоювання, оскільки саме газоутворювальна активність дріжджів визначає швидкість та рівномірність підйому. Низька підйимальна сила свідчить про знижену життєздатність клітин і може призвести до погіршення структури м'якуша та органолептичних характеристик хліба. Висока ж підйимальна сила є запорукою скорочення тривалості технологічних процесів і формування якісного пшеничного хліба [18].

Визначення підйимальної сили дріжджів здійснювали за класичною методикою, що застосовується у хлібопекарському виробництві для контролю біотехнологічних властивостей дріжджів.

Для досліду готували тістову суспензію з 7 г пшеничного борошна вищого гатунку та 1 г пресованих хлібопекарських дріжджів, які розводили у 100 мл води. З отриманої маси формували кульку правильної форми та занурювали її у мірний стакан з водою температурою $35 \pm 0,5$ °C. Стакан поміщали в термостат для підтримання стабільних умов упродовж експерименту.

Час, необхідний для підйому кульки на поверхню води, фіксували секундоміром. Отримане значення відображає активність дріжджів у заданих умовах і використовується для розрахунку підйимальної сили (ПС) за формулою:

$$PC = 3,5 \cdot T,$$

де

T – час піднімання кульки, хв.;

3,5 – коефіцієнт.

Кожний експеримент виконували у триразовій повторності, результати подано у вигляді середніх арифметичних значень.

Визначення кількості та якості сирої клейковини

Кількість та якість сирої клейковини є одним з основних показників хлібопекарських властивостей пшеничного борошна. Клейковина формує структурний каркас тіста, визначає його газоутримувальну здатність, еластичність та пружність, а також суттєво впливає на об'єм і текстурні характеристики готового виробу. Тому дослідження її маси, розтяжності та пружності є необхідним етапом оцінювання впливу функціональних добавок, зокрема конопляного екстракту, на технологічні властивості тіста.

Визначення кількості сирої клейковини проводять згідно з класичною методикою, описаною у стандартизованих лабораторних інструкціях [35]. Метод передбачає замішування тіста з точно відміряної кількості борошна та води, подальше визрівання у закритій посудині та відмивання крохмалю водою до прозорості промивної рідини. Після завершення відмивання клейковину вручну відтискають до сталості маси та визначають її відносний вміст у борошні. Результат виражають у відсотках від маси вихідної наважки.

Окрім кількісної характеристики, важливими показниками є **розтяжність** та **пружність** клейковини.

Розтяжність визначають шляхом формування кульки клейковини та її попереднього набухання у воді при температурі 18-20°C. Після цього зразок розтягують рівномірним зусиллям до моменту розриву та фіксують довжину розтягування. Цей показник відображає пластичні властивості білкового каркасу та його здатність опиратися деформації при газоутворенні у тісті.

Пружність оцінюють на приладі ВДК-7, який дозволяє виміряти деформацію кульки клейковини під дією стандартного навантаження протягом 30 секунд. Чим меншою є деформація, тим вищою вважається пружність

білкового комплексу. Показник є чутливим до вмісту білка, ступеня гідратації та наявності сторонніх компонентів у тісті.

Методики визначення кількості та якості сирової клейковини широко застосовуються у хлібопекарській галузі для оцінювання змін, що відбуваються при внесенні білкових або рослинних добавок. Дослідження цього показника особливо важливе при використанні конопляного екстракту, оскільки рослинні компоненти можуть змінювати структуру тіста та властивості білкової фази. Отримані результати дозволяють об'єктивно оцінити вплив добавки на технологічні властивості борошна та прогнозувати поведінку тіста на наступних етапах виробництва.

2.2.4 Визначення органолептичних показників

Органолептична оцінка хлібобулочних виробів проводиться для визначення їх якості за допомогою органів чуття: зору, нюху, смаку та дотику. Цей метод дозволяє оцінити зовнішній вигляд, колір, запах, смак і текстуру виробів. Приклад бальної шкали наведено в таб. 2.7.

Для оцінки органолептичних показників зразків хліба із додаванням конопляного протеїну використовували загальноприйнятну методику відповідно до ДСТУ 7045:2009 «Хлібобулочні вироби. Загальні технічні умови» [44].

Таблиця 2.7

Приклад бальної шкали оцінки

Показник	5 балів (відмінно)	4 бали (добре)	3 бали (задовільно)	2 бали (незадовільно)	1 бал (погано)
Зовнішній вигляд	Рівномірна форма, без дефектів	Незначні дефекти форми	Помітні дефекти форми	Сильні деформації	Повна відсутність форми
Колір	Рівномірний, характерний	Незначна нерівномірність	Помітна нерівномірність	Сильна нерівномірність	Неприйнятний колір
Запах	Характерний, приємний	Незначні сторонні запахи	Помітні сторонні запахи	Сильні сторонні запахи	Неприємний запах
Смак	Гармонійний, характерний	Незначні відхилення	Помітні відхилення	Сильні відхилення	Неприйнятний смак
Текстура м'якуша	Еластична, волога, пориста	Незначні відхилення	Помітні відхилення	Сильні відхилення	Неприйнятна текстура

Ця методика дозволяє об'єктивно оцінити якість хлібобулочних виробів та виявити можливі недоліки у виробничому процесі.

Об'єкти оцінки:

Оцінювали хлібобулочні вироби, виготовлені на основі пшеничного борошна вищого сорту з додаванням 10% конопляного протеїну. Контрольними зразками були традиційні хлібобулочні вироби без додавання протеїну.

Показники органолептичної оцінки:

- Зовнішній вигляд – форма виробу, рівномірність забарвлення скоринки, наявність тріщин чи впливів.
- Стан м'якушки – пористість, еластичність, колір, відсутність пустот чи слідів непромісу.
- Консистенція – м'якість, пружність при легкому натисканні.
- Смак – характерний для даного виду хліба, без сторонніх присмаків, можливий ледь відчутний горіховий відтінок від конопляного протеїну.
- Аромат – приємний, характерний для пшеничного хліба, без сторонніх запахів, допускається легкий аромат насіння коноплі.

Методика проведення.

Органолептичну оцінку якості хлібобулочних виробів проводили дегустаційним методом відповідно до вимог чинної нормативної документації. До складу дегустаційної комісії входило 5 експертів, які пройшли попередній інструктаж. Оцінювання здійснювали у дегустаційному приміщенні при температурі 20-22 °С, природному денному освітленні та відсутності сторонніх запахів.

Зразки подавали у закодованому вигляді після охолодження до 18-20 °С. Оцінювали форму, поверхню та колір, стан кірки, структуру і консистенцію м'якуша, смак та запах. Використовували п'ятибальну систему оцінювання, наведено у таблиці 2.7. Кожен експерт виставляв індивідуальні оцінки, після чого визначали середній бал за кожним показником та інтегральний середній бал для кожного зразка.

2.2.5 Методи контролю фізико-хімічних показників готових хлібних виробів

Фізико-хімічні показники готових хлібних виробів є важливими критеріями їхньої якості та характеризують стан м'якушки, ступінь пропікання, інтенсивність бродильних процесів і структурно-механічні властивості продукту. До основних параметрів контролю належать вологість, кислотність та пористість м'якушки. Сукупність цих методів дозволяє об'єктивно оцінити вплив рецептурних змін, зокрема додавання конопляного протеїну, на якість готового хліба.

Визначення вологості м'якушки

Вологість характеризує ступінь пропікання виробу, його свіжість та здатність до зберігання. Для визначення цього показника з хлібного виробу зрізають завітрену частину товщиною близько 0,5 см, після чого відбирають виїмки м'якушки загальною масою 12-15 г. Подрібнену м'якушку ретельно перемішують і по 5 г поміщають у попередньо висушені та зважені бюкси. Зразки висушують у сушильній шафі СЕШ-3М при температурі 130 °С протягом 40 хвилин. Після висушування бюкси охолоджують у ексікаторі та повторно зважують.

Вологість м'якушки (%) обчислюють за формулою:

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \times 100,$$

де:

m_1 – маса бюксу з крихтами до висушування, г;

m_2 – маса бюксу з крихтами після висушування, г;

m – маса зразка м'якушки, г.

Цей метод дозволяє визначити фактичний вміст води у м'якушці та оцінити правильність технології випікання.

Визначення кислотності м'якушки

Кислотність хліба є важливим показником, що відображає інтенсивність бродіння та активність мікрофлори тіста. Для її визначення відбирають 25 г м'якушки та переносять у суху склянку об'ємом 500 см³. Додають 250 мл води температурою 60 °С і розтирають м'якушку до однорідної суспензії, яку потім інтенсивно збовтують протягом 3 хвилин. Після хвилинного відстоювання

верхній шар фільтрують крізь марлю та відбирають 50 мл фільтрату. До нього додають 2 краплі фенолфталеїну та титрують 0,1 моль/дм³ розчином NaOH до появи блідо-рожевого забарвлення, що зберігається не менше 1 хвилини.

Кислотність (у градусах) обчислюють за формулою:

$$X = 2 \cdot V \cdot K,$$

де:

X – кислотність м'якушки, град;

V – об'єм розчину NaOH, витрачений на титрування, мл;

K – поправочний коефіцієнт титру лугу.

Методика відповідає вимогам ДСТУ для хлібобулочних виробів, згідно з якими кислотність пшеничного хліба не повинна перевищувати 3-4 градуси.

Визначення пористості м'якушки

Пористість характеризує структуру м'якушки, рівномірність формування пор, газоутримувальну здатність тіста та ступінь розвитку клейковинного каркасу. Для її визначення з середини хлібного виробу, на відстані 1 см від скоринки, вирізають фрагмент шириною 8-9 см. Із цього шматка за допомогою циліндра приладу Журавльова (об'єм 27 см³) роблять три виїмки. Кожну виїмку виштовхують і зрізають ножем врівень із краєм циліндра. Зразки зважують.

Пористість (%) розраховують за формулою:

$$V = [V_{\text{заг}} - (m / \rho) / V_{\text{заг}}] \cdot 100, \%$$

де:

$V_{\text{заг}}$ – загальний об'єм усіх виїмок, см³ (для трьох виїмок – 81 см³),

m – маса відібраних виїмок, г,

ρ – густина безпористої маси м'якушки пшеничного хліба (1,31 г/см³).

Цей метод забезпечує точну оцінку ступеня розрихлення м'якушки та дозволяє порівнювати якість виробів, що відрізняються рецептурою.

Сукупність наведених фізико-хімічних методів забезпечує комплексну характеристику якості випечених хлібних виробів. Визначення вологості дозволяє оцінити свіжість та правильність термічної обробки; кислотність відображає хід бродильних процесів; пористість дає інформацію про формування

структури м'якушки. Застосування цих методів є необхідним етапом аналітичної оцінки впливу конопляного протеїну на хлібобулочні вироби.

Визначення пружності клейковини на приладі ВДК-7

Для визначення пружності використовували прилад ВДК-7 – вимірювач деформації клейковини, принцип роботи якого ґрунтується на реєстрації ступеня стискання кульки сирої клейковини тарованим вантажем протягом 30 секунд. Чим вища пружність зразка, тим менше він деформується і тим нижчі значення фіксує прилад; за зниженої пружності деформація більша, а показник – вищий.

Методика передбачала розміщення сформованої кульки клейковини у центрі робочого столика приладу ВДК-7 та її стискання пуансоном упродовж заданого часу. Для оцінки пружності визначали середнє арифметичне двох паралельних вимірів. Отримані результати дозволили кількісно охарактеризувати еластичні властивості клейковинного комплексу та оцінити вплив конопляного протеїну на формування білкової структури тіста.

Висновки до розділу 2

У ході проведення дослідження було визначено комплекс об'єктів та методів, необхідних для всебічної оцінки впливу конопляного протеїну на технологічні та якісні показники пшеничного хліба.

Об'єкти дослідження включали традиційні компоненти для виробництва пшеничного хліба (борошно, вода, дріжджі, сіль, цукор, олія), а також конопляний протеїн, поживний склад та функціональні властивості якого детально охарактеризовано. Це забезпечило можливість оцінити їх взаємодію в тісті та обґрунтувати доцільність його використання як функціональної добавки.

Методичний комплекс, застосований у дослідженні, охоплював:

- аналітичні методи (визначення білків, амінокислот, флавоноїдів, вітаміну С);
- мікробіологічні методи (оцінка забрудненості протеїну, морфологія та активність дріжджів);
- фізико-хімічні методи (амілазна активність, рН, вологість, кислотність, підймальна сила, кількість і якість клейковини);

- органолептичну оцінку готових виробів.

Застосовані методи дозволили комплексно охарактеризувати конопляний протеїн як харчову добавку, оцінити його безпечність, функціонально-технологічні властивості та вплив на біохімічні процеси у тісті.

Використання стандартизованих та валідованих методик забезпечує достовірність отриманих результатів і дає можливість об'єктивно порівняти контрольні та дослідні зразки хліба з додаванням 10-30 % конопляного протеїну.

Таким чином, у розділі визначено науково обґрунтований підхід до дослідження, що створює методичну базу для подальшого експериментального аналізу й оцінки впливу конопляного протеїну на якість пшеничного хліба.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Лабораторні дослідження сировини та напівфабрикатів.

3.1.1. Фізико-хімічні методи

Дослідження фізико-хімічних показників пресованих дріжджів

Визначення вологості пресованих дріжджів

Вологість дріжджів визначали методом висушування проби до сталої маси на приладі Чижової. Для аналізу відважували 5 г пресованих дріжджів у попередньо висушених термостійких паперових пакетах. Проби висушували при температурі 160 °С протягом 7 хвилин, після чого охолоджували в ексікаторі та повторно зважували. На основі різниці мас до та після висушування розраховували масову частку води за формулою:

$$W = \frac{(m_1 - m_2) * 100}{m}$$

$$W_1 = \frac{(5.0 - 1.4) * 100}{5.0} = 72.0\%$$

$$W_2 = \frac{(5.0 - 1.5) * 100}{5.0} = 70.0\%$$

$$W_{\text{сер.}} = \frac{(72.0 + 70.0)}{2} = 71.0\%$$

За результатами двох паралельних визначень було отримано значення вологості різниця між визначеннями не перевищувала допустиму похибку. Середній показник вологості становив 71%.

Згідно з вимогами ДСТУ, вологість пресованих дріжджів повинна бути не більше 75 %, отже, досліджувана сировина повністю відповідала нормативам та могла бути використана в подальших експериментальних дослідженнях.

Визначення кислотності пресованих дріжджів

Кислотність дріжджів визначали методом титрування. Для аналізу 10 г пресованих дріжджів ретельно розтирали у фарфоровій ступці, поступово додаючи 50 мл дистильованої води до утворення однорідної суспензії. Отриманий розчин титрували 0,1 моль/дм³ розчином NaOH у присутності

фенолфталеїну до появи ледь помітного рожевого забарвлення, що зберігалось не менш ніж 1 хвилину.

Кислотність у перерахунку на масу оцтової кислоти визначали за формулою:

$$X = 60 \cdot V \cdot K,$$

При витраті 4,6 мл лугу кислотність дріжджів становила:

$$X = 60 \cdot 4,6 = 276 \text{ мг оцтової кислоти на } 100 \text{ г.}$$

Відповідно до ДСТУ 4812:2007, кислотність пресованих дріжджів не повинна перевищувати 300 мг оцтової кислоти на 100 г продукту при зберіганні за температури 0-4 °С. Отриманий результат підтверджує відповідність дріжджів нормативним вимогам, їх свіжість та придатність до використання у хлібопекарських процесах.

Таким чином, визначені фізико-хімічні показники свідчать про належну якість пресованих дріжджів та дозволяють застосовувати їх у подальших етапах експерименту без ризику впливу початкових дефектів сировини на результати досліджень.

Визначення вмісту білка в конопляному протеїні.

У ході дослідження конопляного протеїну було проведено якісну реакцію на білок – біуретову. Цей тест дозволяє експериментально підтвердити наявність пептидних зв'язків у білкових молекулах і використовується для швидкої оцінки білкової насиченості рослинної сировини.

У результаті проведеної біуретової реакції у пробірці з конопляним шротом було зафіксовано **інтенсивне фіолетове забарвлення**, що свідчить про високу концентрацію білкових речовин у досліджуваному зразку.

Для порівняння контрольний зразок (гарбузовий шрот) дав слабше забарвлення, що відповідає нижчому вмісту білка. Візуальна різниця кольору підтверджує наявність значної кількості пептидних зв'язків у конопляному протеїні та дозволяє зробити висновок про його високу поживну цінність.

Експериментальні результати повністю узгоджуються з літературними даними, згідно з якими конопляний протеїн характеризується високим вмістом білкових сполук (до 50-60 % від маси сухої речовини). Таким чином, реакція підтвердила якісний склад досліджуваної сировини та її придатність як білкової харчової добавки у виробництві функціонального хліба.



Рис. 3.1. Біуретова реакція

Біуретова реакція (рис. 3.1) підтвердила високий вміст білка у конопляному протеїні. Це обґрунтовує доцільність подальшого використання даної сировини для створення функціональних хлібобулочних виробів із підвищеною харчовою цінністю.

Визначення вмісту вільних амінокислот.

Вільні амінокислоти відіграють ключову роль у харчовій та біотехнологічній цінності білкових продуктів. Вони не тільки підвищують поживну цінність сировини, але й впливають на технологічні процеси хлібопечення: слугують джерелом азоту для дріжджів, стимулюють їхню життєдіяльність та сприяють інтенсивному газоутворенню у тісті. Визначення вмісту вільних амінокислот у конопляному протеїні дозволяє оцінити його функціональність та перспективність використання як збагачувальної добавки до пшеничного хліба.

У ході формольного титрування (рис. 3.2) конопляного протеїну спостерігали характерні зміни забарвлення: після додавання фенолфталеїну розчин набував слабого рожевого відтінку, який зникав при внесенні формальдегіду. Повторне титрування лугом відновлювало рожеве забарвлення, що підтверджує наявність вільних аміногруп у зразку та, відповідно, присутність вільних амінокислот.



Рис. 3.2. Формольне титрування

На основі витрати титранту було обчислено кількість вільних амінокислот у конопляному протеїні. Розрахункове значення склало: 280 мг/100 г продукту

Отримані дані свідчать про значний вміст вільних амінокислот у конопляному протеїні. Це підвищує його біологічну цінність, оскільки такі сполуки є легко засвоюваними організмом людини та беруть участь у ключових метаболічних процесах. Для хлібопекарського виробництва вміст амінокислот має особливе значення: вони служать джерелом азоту для дріжджів, стимулюють їхню життєдіяльність та посилюють ферментативну активність, що безпосередньо впливає на газоутворення у тісті й якість готового хліба.

Вміст вільних амінокислот у конопляному протеїні підтверджує доцільність використання конопляного протеїну як функціональної добавки у виробництві пшеничного хліба, адже він підвищує як харчову, так і технологічну цінність виробів.

Визначення вмісту флавоноїдів.

Флавоноїди – природні антиоксиданти, що гальмують окисні процеси та підвищують стабільність харчових продуктів. Їх визначення у конопляному протеїні важливе для оцінки потенціалу цієї сировини як функціональної добавки у хлібопекарстві.

Експеримент проводили методом Левенталя (рис. 3.3) з використанням титрування 0,01 N розчином перманганату калію у присутності індикатора індігокарміну. У ході аналізу було зафіксовано витрату титранту, що дозволило обчислити вміст флавоноїдів у зразку конопляного протеїну.



Рис. 3.3 - Метод Левенталя

Розрахунок здійснювали за формулою:

$$X = \frac{A \cdot V_1 \cdot k}{V_2 \cdot P}$$

Для розрахунку були використані такі вихідні дані:

- $A = 0,50$ мл – об'єм розчину KMnO_4 , витрачений на титрування;
- $P = 2,0$ г – маса навішування конопляного протеїну;
- $V_1 = 50$ мл – загальний об'єм екстракту після фільтрації;
- $V_2 = 10$ мл – об'єм екстракту, відібраний на титрування;
- $K = 3,2$ мкг/мл – коефіцієнт перерахунку для 0,01 N KMnO_4 ;

Підставивши значення у формулу, отримуємо:

$$X = \frac{0,50 \cdot 50 \cdot 3,2}{10 \cdot 2,0} = \frac{80}{20} = 4,0 \text{ мкг/г} = 400 \text{ мкг/100 г}$$

Вміст флавоноїдів у конопляному протеїні становить 400 мкг/100 г продукту. Цей показник свідчить про наявність у сировині біологічно активних речовин із вираженим антиоксидантним потенціалом. Їхня присутність може позитивно впливати на якість хліба: уповільнювати процеси черствіння, стабілізувати колір і аромат, підвищувати загальну функціональність виробу.

Визначення вмісту вітаміну С.

Вітамін С (аскорбінова кислота) є важливою біологічно активною сполукою, яка виконує антиоксидантну та захисну функції, а також бере участь у метаболічних процесах. Для нашого дослідження визначення його вмісту у

конопляному протеїні є актуальним, оскільки ця сировина може служити додатковим джерелом вітаміну С у рецептурі хлібобулочних виробів.

У ході експерименту було проведено йодометричне титрування (рис. 3.4) екстракту конопляного протеїну. Під час аналізу на 10 см³ фільтрату було витрачено 0,7 см³ 0,001 н розчину йоду до появи стійкого синього забарвлення. Це значення використали для розрахунку маси аскорбінової кислоти та її вмісту у перерахунку на 100 г продукту.



Рис. 3.4 - Йодометричне титрування

Кількісний вміст аскорбінової кислоти (М) розраховували за формулою:

$$M = \frac{n \cdot E \cdot V}{1000}$$

- V = 0,7 мл – об'єм розчину йоду, витрачений на титрування;
- n = 0,001 – нормальність розчину йоду;
- P = 5,0 г – маса навішування протеїну;
- E=88 г/моль – молярна маса еквівалента аскорбінової кислоти.

Розрахунок маси аскорбінової кислоти (М):

$$M = \frac{0,001 \cdot 88 \cdot 0,7}{1000} = 0,0000616 \text{ г} = 0,0616 \text{ мг};$$

Розрахунок вмісту вітаміну С у перерахунку на 100 г продукту (Х):

$$X = \frac{0,0616 \cdot 1000}{5} = 12,33 \text{ мг / 100г};$$

Отже, вміст вітаміну С у конопляному протеїні становив 12,33 мг на 100 г продукту.

Отриманий показник підтверджує, що конопляний протеїн може виступати додатковим джерелом аскорбінової кислоти у складі хлібобулочних виробів. Це підвищує їх біологічну цінність і сприяє антиоксидантному захисту під час зберігання, уповільнюючи процеси окиснення та старіння продукту.

Наявність вітаміну С у складі досліджуваної сировини підвищує її біологічну цінність та функціональність. Аскорбінова кислота, окрім харчової

користі, виконує технологічну роль антиоксиданту: уповільнює процеси окиснення, зменшує інтенсивність черствіння та сприяє збереженню свіжості готових виробів.

Визначення рН екстракту коноплі

Вимірювання кислотного-лужного показника екстракту коноплі проводили для оцінювання його фізико-хімічних властивостей та можливого впливу на технологічні процеси під час приготування тіста. Для аналізу готували однорідну суспензію екстракту, яку отримували шляхом змішування сухої сировини з дистильованою водою до повного зволоження та стабілізації структури.

Вимірювання здійснювали електронним рН-метром, попередньо відкаліброваним у стандартних буферних розчинах. Електрод занурювали у пробу так, щоб чутлива частина була повністю покрита дослідною рідиною. Зчитування проводили після стабілізації показника.

За результатами вимірювання (рис. 3.5) встановлено, що рН екстракту коноплі становить **7,16**, що відповідає нейтральному середовищу. Отримане значення свідчить про відсутність вираженої кислотності чи лужності, що може бути сприятливим фактором для стабільності білкових і клітковинних фракцій у подальших технологічних операціях.



Рис. 3.5 - Визначення рН екстракту коноплі

Визначення кількості та якості сирової клейковини

У цьому дослідженні визначали масу сирової клейковини, її розтяжність та пружність у контрольному зразку борошна та у зразках із додаванням різної кількості конопляного екстракту (10 %, 20 %, 30 % та 100 % від кількості рідини). Метою було оцінити особливості формування білкового каркасу тіста за умов внесення рослинної добавки.

Проведення визначення маси сирії клейковини

Зважували 30 г пшеничного борошна та додавали рідку фазу відповідно до дослідної схеми замісів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Схема замісів борошна з різною кількістю конопляного екстракту

Зразок	Екстракт коноплі, мл	Вода, мл	Загальна рідина, мл	Борошно, г
Контроль	0	17	17	30
10 %	1,7	15,3	17	30
20 %	3,4	13,6	17	30
30 %	5,1	11,9	17	30
100 %	17	0	17	30

Тісто замішували до однорідної консистенції та залишали у закритій посудині на 20 хв для визрівання. Після цього проводили відмивання клейковини водою кімнатної температури до отримання прозорої промивної води, що не давала синього забарвлення з розчином йоду. Відмиту клейковину відтискали сухими руками до моменту, коли вона починала злегка прилипати до пальців, після чого зважували. Після повторного 5-хвилинного відмивання та зважування переконувалися, що різниця мас не перевищує 0,1 г. Вміст клейковини в борошні визначали за формулою:

$$X = \frac{100 \cdot M_1}{M},$$

де:

M_1 – маса сирії клейковини, г;

M – маса борошна, г.

Особливості процесу замішування.

За візуальними спостереженнями, із підвищенням частки конопляного екстракту тісто набувало дещо щільнішої консистенції та більш вираженої зернистості поверхні. При цьому формування тіста залишалося технологічно зручним, а заміс – однорідним у всіх варіантах. Під час відмивання клейковини встановлено, що зі збільшенням частки екстракту тісто меншою мірою розпадалося у воді, а у зразку з 100 % екстракту зберігало майже повну цілісність. Зразки замішування наведено на рис. 3.6.



Рис. 3.6 Зразки замішування, зліва 100% конопляного екстракту, справа контроль



Рис. 3.7 Зразки відмитої клейковини, в тому ж порядку



Рис. 3.8 Зразки клейковини після віджиму

Після відмивання отримані зразки клейковини відрізнялися за масою та структурою (рис. 3.7). Із підвищенням частки екстракту маса сирієї клейковини поступово зростала. Зразки після віджиму представлені на рис. 3.8.

Розтяжність сирієї клейковини

Клейковину масою 4 г формували у кульку, витримували у воді температурою 18°C протягом 15 хв, після чого розтягували рівномірним рухом до моменту розриву та фіксували довжину розтяжності.

Пружність клейковини (прилад ВДК-7)

Кульку сирієї клейковини поміщали у центр столика приладу ВДК-7. Пуансон стискав зразок протягом 30 секунд. За результат приймали середнє

арифметичне з двох паралельних вимірів. Чим меншою була деформація, тим вищою вважалася пружність білкового комплексу.

Таблиця 3.2

Показники кількості та якості сирії клейковини

Зразок	Маса сирії клейковини, г	Розтяжність, см	Пружність, ум. од.
Контроль	8,5	9,0	93,1
10 %	9,7	11,0	95,4
20 %	10,4	11,5	97,6
30 %	10,8	12,0	99,6
100 %	12,0	13,0	100,1

Отримані експериментальні дані (табл. 3.2) демонструють характерні зміни у структурно-механічних властивостях клейковини при внесенні конопляного екстракту.

Із підвищенням частки екстракту:

- маса сирії клейковини зростала, що свідчить про збільшення загального вмісту білкової фракції та здатності тіста утримувати воду;
- розтяжність поступово збільшувалася, тобто білкова маса характеризувалася більшою пластичністю;
- показник пружності зростав поступово, що відображає більш виражену здатність білкової структури опиратися стисканню.

Такі зміни можна трактувати як особливість взаємодії білкових та клітковинних фракцій конопляного екстракту з пшеничною клейковиною, що формує більш щільний та водоутримувальний білковий каркас.

3.1.2. Біохімічні та мікробіологічні дослідження дріжджів та напівфабрикатів

Мікробіологічна оцінка протеїну

Мікробіологічна безпека є важливим критерієм якості харчової сировини. Рослинні добавки, що вводяться до рецептури тіста, можуть містити сторонню мікрофлору, яка здатна погіршувати органолептичні властивості та скорочувати термін зберігання готових виробів. Тому перевірка мікробіологічних показників конопляного протеїну є обов'язковою для підтвердження його придатності до використання у хлібопекарстві.

Мікробіологічний аналіз (рис. 3.9) проводили методом суцільного посіву на м'ясо-пептонний агар із подальшою інкубацією при температурі 35 °С протягом 72 годин. Після інкубації було встановлено:

- відсутність слизово-складчастих колоній, характерних для *Bacillus subtilis*;
- відсутність шкірясто-складчастих колоній *Bacillus mesentericus*;
- відсутність росту пліснявих грибів (*Fusarium*).
- Мікроскопічне дослідження також підтвердило відсутність клітин із спороутворенням та інших сторонніх форм, які могли б свідчити про мікробне забруднення.

Отримані результати вказують на високий рівень мікробіологічної чистоти конопляного протеїну. Відсутність небажаної мікрофлори означає, що дана сировина не створює ризику мікробіологічного псування та не знижує якість тіста. Це забезпечує безпечне застосування протеїну у рецептурі пшеничного хліба, підвищуючи його біологічну цінність без шкоди для мікробіологічних показників.



Рис. 3.9 - Мікробіологічний аналіз

Дослідження підтвердило, що конопляний протеїн відповідає вимогам мікробіологічної безпеки та може використовуватися у хлібопекарському виробництві без ризику погіршення якості продукції.

Виявлення морфологічних ознак дріжджових клітин

Морфологічний аналіз дріжджів проводили з використанням препарату «роздавлена крапля» та фарбуванням метиленовим синім. Для дослідження готували водну суспензію дріжджів (0,5 г дріжджів, 10 см³ води, 10 см³ 10% сахарози), яку інкубували протягом 4 та 12 годин при 35 °С. Після інкубації виготовляли препарати та мікроскопували їх при збільшенні ×400-1000.

Метиленовий синій дозволяв розрізняти життєздатні клітини (світлі) та мертві (інтенсивно забарвлені). Додатково оцінювали форму клітин та наявність брунькування.

Результати після 4 годин культивування (рис. 3.10 – 3.11):



Рис. 3.10 – 4 год. без протеїну

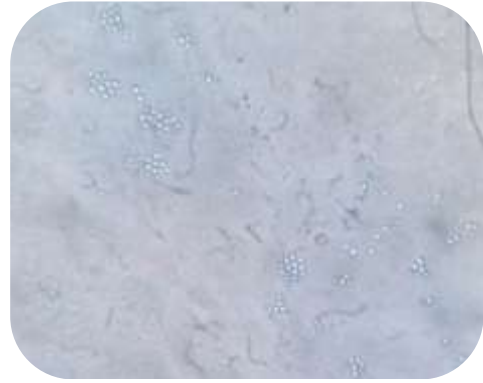
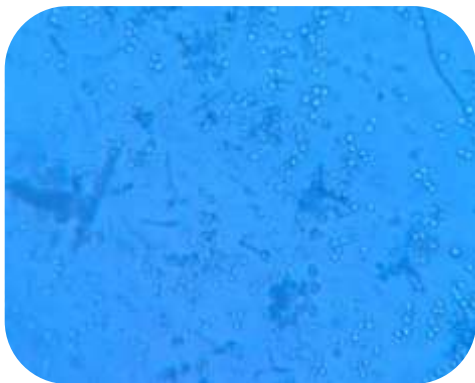


Рис. 3.11 – 4 год. з протеїном

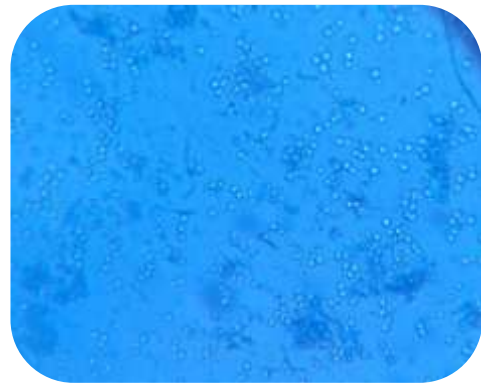
Без конопляного протеїну. На препараті переважали округлі життєздатні клітини, однак уже спостерігалися поодинокі забарвлені (мертві) клітини. Брунькування присутнє, але маловиражене.

З конопляним протеїном. Популяція щільніша, кількість клітин, що брунькуються, значно більша. Мертві клітини майже відсутні. Структура клітин зберігається, цитоплазма світла. Це свідчить про активніший ріст культури.

Результати після 12 годин культивування (рис. 3.12 – 3.13):



*Рис. 3.12 – 12 год.
без протеїну*



*Рис. 3.13 – 12 год.
з протеїном*

Без добавки. Кількість мертвих клітин помітно збільшилася, частина клітин деформована. Інтенсивність брунькування знизилась – культура переходить до фази виснаження.

З додаванням протеїну. Більшість клітин залишаються життєздатними та світлими. Брунькування зберігається навіть на 12-й годині. Популяція морфологічно однорідна, ознак масового старіння немає.

Аналіз мікрофотографій показав, що додавання конопляного протеїну:

- підвищує інтенсивність брунькування вже з перших годин культивування;
- зменшує частку мертвих клітин;
- підтримує життєздатність дріжджів протягом довшого часу;
- сприяє стабільності популяції на пізніх етапах росту.

Результати зведено в таблиці 3.3.

Конопляний протеїн має чітко виражений стимулювальний вплив на морфологічний та фізіологічний стан дріжджів, що узгоджується з біохімічними та ферментативними показниками.

Таблиця 3.3

**Морфологічний стан дріжджових клітин за різних умов
культивування**

Показник	Без додавання протеїну		З додаванням протеїну	
	4 год.	12 год.	4 год.	12 год.
Загальна кількість клітин	помірна	знижена	висока	висока
Життєздатні клітини	більшість життєздатні, поодинокі забарвлені	значна частина забарвлених (мертвих)	майже всі життєздатні	переважно життєздатні
Мертві клітини	поодинокі	багато	майже відсутні	поодинокі
Брунькування	слабке	практично відсутнє	інтенсивне	зберігається, активне
Однорідність популяції	середня	знижена, клітини деформовані	висока	висока
Загальна оцінка стану культури	нормальний стартовий ріст	виснаження культури	стимульований ріст	стабільний розвиток

Додавання конопляного протеїну підвищує життєздатність дріжджів, зменшує частку мертвих клітин, посилює брунькування та сповільнює старіння популяції, що повністю узгоджується з мікрофотографіями та іншими експериментальними даними.

Визначення ферментативної активності дріжджів.

Зимазна та мальтазна активність.

Ферментативна активність дріжджів є показником їхньої здатності утворювати вуглекислий газ у процесі бродіння. Вона визначає інтенсивність газоутворення в тісті та впливає на пористість, об'єм і якість готового хліба. Зимазна проба характеризує активність ферментів, що забезпечують спиртове бродіння глюкози, тоді як мальтазна – здатність дріжджів розщеплювати дисахарид мальтозу.

У ході експерименту було визначено вплив додавання конопляного протеїну до тіста на зимазну та мальтазну активність хлібопекарських дріжджів. Контрольним зразком слугували дріжджі без додавання протеїну, а у дослідних зразках конопляний протеїн вносили у кількості 10 %, 20 % та 30 %, 1г, 2г, 3г, відповідно.

Отримані дані показали, що найкращі результати спостерігалися при внесенні 10 % протеїну: час зимазної активності скоротився до 40 хв, а мальтазної – до 74 хв, що істотно краще за контроль (58 та 102 хв відповідно). Це свідчить про стимулюючий вплив добавки на ферментативні системи дріжджів, який забезпечує більш інтенсивне бродіння тіста.

При 20 % протеїну також фіксувалося підвищення активності порівняно з контролем (48 та 82 хв відповідно), однак ефект був менш вираженим, ніж у зразку з 10 %. Подальше збільшення кількості добавки до 30 % призвело до майже повного нівелювання позитивного ефекту: показники активності склали 52 хв для зимазної та 98 хв для мальтазної проби, що лише незначно відрізнялося від контрольних значень.

Таким чином, результати експерименту підтверджують, що оптимальним рівнем внесення конопляного протеїну є 10 %, оскільки саме за цієї концентрації дріжджі проявляють максимальну ферментативну активність. Це має важливе значення для технології хлібопечення, адже скорочення часу бродіння сприяє підвищенню підйомної сили тіста та формуванню більш якісної структури готового хліба.

Таблиця 3.4

Залежність зимазної та мальтазної активності дріжджів від концентрації добавок.

Ферментативна активність	Контроль (дріжджі)	З 10% протеїну	З 20% протеїну	З 30% протеїну
Зимазна, хв	58	40	48	52
Мальтазна, хв	102	74	82	98

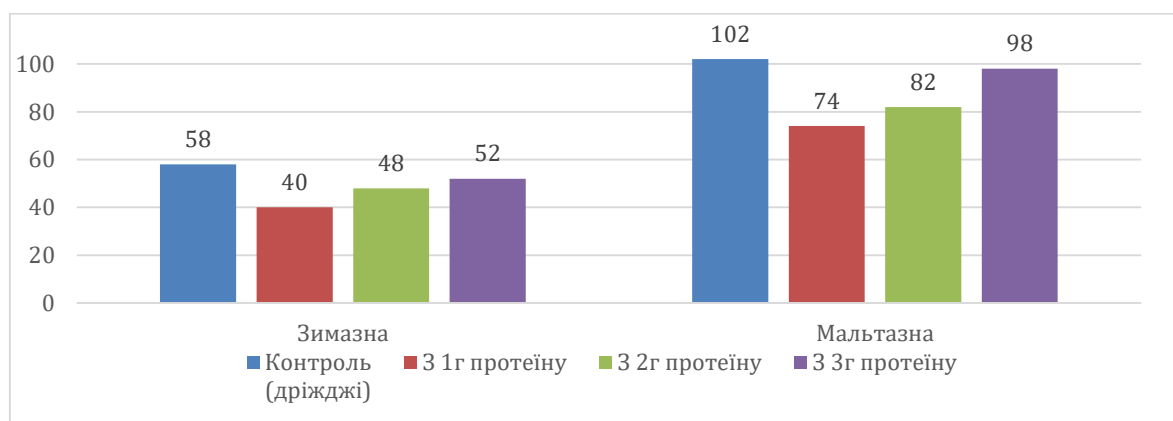


Рис. 3.14 . Ферментативна активність дріжджів з додаванням і без додавання протеїну.

Отримані дані (таб. 3.4) свідчать про стимулювальний вплив конопляного протеїну на активність дріжджових ферментів, що може бути пов'язано з наявністю у складі протеїну амінокислот, вітамінів та мікроелементів, які беруть участь в обміні речовин дріжджових клітин. Це відкриває перспективи використання конопляного протеїну як функціональної харчової добавки для покращення процесів бродіння у хлібопекарській промисловості.

Визначення амілазної активності конопляного протеїну

Амілази каталізують гідроліз крохмалю до декстринів та цукрів, тому їх наявність у рослинних білкових добавках може опосередковано впливати на доступність вуглеводів для дріжджів та інтенсивність бродіння.

Визначення амілазної активності проводили методом серійних двократних розведень за модифікацією методики Вольгемута (рис. 3.15). Для аналізу готували водні розведення екстракту конопляного протеїну у співвідношеннях:

1:20, 1:40, 1:80 та 1:160. Кожне розведення інкубували з 0,1 % розчином крохмалю при температурі 38 °С протягом 30 хвилин, після чого додавали краплю 0,1 % розчину йоду та оцінювали інтенсивність забарвлення.

Світло-жовтий колір свідчив про повний гідроліз крохмалю, тоді як синє або фіолетове забарвлення – про його залишкову кількість. За результатами візуальної оцінки встановлено:

- у розведеннях 1:20 та 1:40 спостерігалось солом'яно-жовте забарвлення, що вказує на повний гідроліз крохмалю;
- у вищих розведеннях (1:80 та 1:160) реакція з йодом давала синє забарвлення, що свідчить про зниження активності.



Рис. 3.15 Визначення амілазної активності

Амілазну активність розраховували за формулою:

$$A(38^{\circ}\text{C}/30\text{ хв}) = 2 \cdot V,$$

де:

A – амілолітична активність (мл 0,1 % крохмального розчину),

V – знаменник найбільшого розведення, у якому відбувався повний гідроліз крохмалю.

Результат наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Визначення активності α -амілази

Розведення	Активність, мл
1:20	$2 \times 20 = 40$ мл
1:40	$2 \times 40 = 80$ мл

Таким чином, амілолітична активність конопляного протеїну становить 40-80 мл залежно від розведення. Це свідчить про наявність у білковому екстракті певної кількості природних амілолітичних ферментів рослинного походження. Їх активність є помірною та не досягає рівня ферментативних препаратів, однак

може частково сприяти розщепленню крохмалю у тісті та підвищувати доступність цукрів для дріжджів.

Наявність амілазної активності у конопляному протеїні доповнює результати дослідження зимазної та мальтазної активності дріжджів і частково пояснює стимулювальний ефект добавки при внесенні на рівні 10 %.

Визначення підйимальної сили дріжджів.

Підйимальна сила дріжджів є одним із ключових показників їхньої біотехнологічної активності. Вона характеризує здатність клітин утворювати вуглекислий газ у тісті та визначає швидкість його вистоявання. Висока підйимальна сила скорочує тривалість технологічного процесу і позитивно впливає на якість готових виробів.

Підйимальну силу визначали за часом спливання кульки тіста у воді температурою $35 \pm 0,5$ °C з подальшим перерахунком за формулою:

$$ПС = 3,5 \cdot T$$

де T – час піднімання кульки, хв.

Результатами досліджень було встановлено значення підйимальної сили для дослідних зразків і наведено у таблиці 3.6:

Таблиця 3.6

Підйимальна сили дослідних зразків.

Зразок	Час підйому кульки, хв	Підйимальна сила дріжджів, ум. од.
Без протеїну	8,0	28
З додаванням 10 % протеїну	4,0	14
З додаванням 20 % протеїну	5,0	17,5
З додаванням 30 % протеїну	9,0	31,5

Аналіз показав, що у контрольному зразку (без конопляного протеїну) час підйому кульки становив 8 хв, що відповідає підйимальній силі 28 ум. од. Це відображає середній рівень газоутворювальної активності дріжджів.

У зразку з 10 % протеїну час підйому скоротився удвічі – до 4 хв (14 ум. од.). Це свідчить про значне посилення біохімічної активності дріжджів, що забезпечує швидший підйом тіста і потенційно зменшує тривалість вистоювання.

У випадку 20 % протеїну час підйому становив 5 хв (17,5 ум. од.), що теж свідчить про стимулюючий ефект, але менш виражений, ніж у варіанті з 10 %.

При 30 % протеїну результати виявилися гіршими за контроль: час підйому зріс до 9 хв (31,5 ум. од.), що свідчить про зниження активності дріжджів та можливе пригнічення їхньої газоутворювальної здатності при надмірному внесенні білкової добавки.

Таким чином, найвищу біотехнологічну ефективність дріжджі проявили у зразках із додаванням 10 % конопляного протеїну, тоді як перевищення цієї концентрації (20-30 %) поступово зменшувало позитивний ефект і навіть призводило до погіршення активності.



Рис. 3.16. Експрес-метод спливаючої кульки

Результати досліджень підтвердили, що додавання конопляного протеїну суттєво впливає на підймальну силу хлібопекарських дріжджів. Це дає змогу скоротити час вистоювання тіста, покращити його реологічні властивості та забезпечити високу якість готового пшеничного хліба.

3.2 Розробка рецептур та технології приготування хліба.

3.2.1. Розробка рецептур дослідних зразків

Розробка рецептури є ключовим етапом експериментальної частини дослідження, оскільки саме складова сировинної композиції визначає подальші показники якості тіста та готового виробу. Для оцінки впливу конопляного протеїну на технологічні, фізико-хімічні та органолептичні властивості пшеничного хліба були розроблені чотири рецептури: контрольна та три дослідні зразки з різним рівнем заміни пшеничного борошна на конопляний протеїн.

Контрольний зразок являє собою традиційний пшеничний хліб без будь-яких добавок. У дослідних зразках частину борошна замінювали на конопляний протеїн у кількостях 5 %, 7 % та 10 % від маси борошна.

Конопляний протеїн має високий вміст білка, клітковини та біологічно активних речовин, однак не містить глютену. Тому заміна борошна проводилася частково, у межах 5-10 %, що дає змогу:

- підвищити харчову цінність хліба;
- не допустити надмірного ослаблення клейковинного каркасу;
- зберегти технологічні властивості тіста на рівні, придатному для формування і випікання;
- мінімізувати ризики зниження об'єму, еластичності та пористості.

Обрані концентрації є раціональними для хлібопекарського виробництва, оскільки більші значення (15-20 % і вище) суттєво погіршують хлібопекарські властивості тіста, що підтверджено попередніми дослідженнями та літературними даними.

Усі рецептури були складені таким чином, щоб загальна маса сухих компонентів залишалась сталою, а кількість рідких інгредієнтів, солі, цукру, дріжджів та олії – незмінною. Дані наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Рецептури дослідних зразків хліба з конопляним протеїном

Інгредієнт	Контрольний зразок	Зразок 1 (5%)	Зразок 2 (7%)	Зразок 3 (10%)
Пшеничне борошно, г	200	190	185	180
Конопляний протеїн, г	0	10	15	20
Вода, мл	110	110	110	110
Дріжджі пресовані, г	3	3	3	3
Олія, г	5	5	5	5
Сіль, г	3	3	3	3
Цукор, г	5	5	5	5

Таким чином, розроблені рецептури дозволили сформувати модельні зразки хліба з різною концентрацією конопляного протеїну. Це створює підґрунтя для подальших досліджень, спрямованих на визначення змін у хімічному складі, ферментативній активності дріжджів, органолептичних властивостях та біологічній цінності готових виробів. Порівняння контрольного та дослідних зразків забезпечує можливість комплексної оцінки ефективності використання конопляного протеїну у виробництві хлібобулочних виробів.

3.2.2. Технологія приготування дослідних зразків.

Для визначення впливу конопляного протеїну на якісні та органолептичні характеристики хліба було розроблено стандартизований спосіб приготування дослідних зразків. Технологічний процес максимально наближений до умов промислового виробництва, але адаптований для лабораторних досліджень. Це дозволило забезпечити відтворюваність результатів і провести коректне порівняння контрольного та дослідних зразків.

Основні етапи приготування дослідних зразків:

Підготовка компонентів є важливим етапом технологічного процесу, оскільки саме на цьому етапі забезпечується однорідність сухих та рідких інгредієнтів, їх рівномірний розподіл у тісті та формування передумов для стабільного перебігу бродіння.

Пшеничне борошно кожного зразка попередньо просіювали через сито з метою:

- насичення борошна киснем,
- руйнування грудочок та видалення можливих механічних домішок,
- покращення гідратаційної здатності майбутнього тіста.

Конопляний протеїн відважували у відповідній кількості (10, 15 або 20 г згідно рецептури) та рівномірно змішували з просіяним борошном.

На фото (рис. 3.17) представлено сформовані сухі суміші для трьох дослідних зразків з різними рівнями заміни борошна протеїном.



Рис. 3.17. Підготовка сухих сумішей для дослідних зразків

Усі компоненти перемішували вручну до отримання однорідної сипкої фракції без видимих розшарувань. Це дозволяло забезпечити рівномірне розподілення протеїну в тісті та уникнути його скупчень.

Пресовані дріжджі (3 г) попередньо розчиняли у теплій воді (30-35 °C), що сприяло їх активації та рівномірному розподілу у рідкій фазі тіста. До дріжджового розчину додавали сіль і цукор згідно рецептури, забезпечуючи повне розчинення кристалічних компонентів.

Замішування тіста є ключовим етапом формування структури майбутнього виробу, оскільки на цьому етапі відбувається гідратація білків і вуглеводів, розвиток клейковинного каркасу, рівномірний розподіл конопляного протеїну та активізація дріжджових клітин. Для всіх зразків – як контрольного, так і дослідних – процес замішування проводили за єдиною методикою, що забезпечує коректність подальшого порівняння результатів.

Після підготовки рідких і сухих компонентів у змішувальну ємність поступово вносили:

- дріжджовий розчин із цукром і сіллю,
- суху суміш (борошно + конопляний протеїн згідно з рецептурою).

На цьому етапі формувалась початкова тістова маса – неоднорідна, в'язка та ще недостатньо розвинена.

У дослідних зразках із вищим вмістом протеїну початкова маса мала темніший відтінок, більш щільну консистенцію та меншу пластичність.

На фото (рис. 3.18) показано початковий вигляд тіста після змішування інгредієнтів зразків із 5 %, 7 % і 10 % добавки протеїну.



Рис. 3.18. Початковий стан тіста різних зразків після змішування компонентів

Після попереднього змішування проводили основний механічний заміс тіста. Процес складався з двох етапів:

Початкова стадія замісу

- проводилась на низькій швидкості протягом 6-8 хвилин;
- забезпечувала рівномірний розподіл компонентів;
- у цей час відбувалась початкова гідратація білків борошна та протеїну.

Інтенсивний заміс

- тривав 4-5 хвилин на підвищеній швидкості міксера;
- сприяв розвитку клейковинних зв'язків та формуванню однорідної еластичної структури.

У контрольному зразку утворювалося пластичне, гладке тісто з типовою пружністю та розтяжністю.

У зразках з 5 % і 7 % протеїну тісто залишалося досить еластичним, хоча ставало дещо щільнішим.

При 10 % білкової добавки тісто мало помітно темніший колір і щільнішу консистенцію, що є характерною реакцією на зменшення вмісту глютену в системі.

Бродіння тіста. На цьому етапі формується структура майбутнього виробу, забезпечується накопичення газів, розвиток ароматоутворювальних речовин і зміцнення клейковинного каркасу. Оптимальні умови бродіння дозволяють покращити пористість, еластичність та об'єм виробів, а також забезпечують рівномірність структури м'якуша.

Після завершення механічного замішування тісто всіх зразків переносили у змащені ємності та встановлювали у камеру для бродіння за температури 30-32 °С. Тривалість основного бродіння становила 60 хвилин, що відповідає стандартним вимогам до пшеничного тіста прямого способу.

Протягом перших 20-30 хвилин відбувалася інтенсивна ферментативна активність дріжджів, що супроводжувалась:

- виділенням вуглекислого газу,
- збільшенням об'єму тіста,
- початковим розпушенням та формуванням дрібнопористої структури.

У зразках з додаванням конопляного протеїну спостерігались характерні відмінності у швидкості газоутворення:

– тісто з 5 % та 7 % протеїну піднімалося рівномірно та демонструвало добрий розвиток пористості,

– у зразку з 10 % протеїну швидкість підйому була дещо нижчою, що пов'язано з ослабленням клейковинної структури та зменшенням газоутримувальної здатності тіста.

Через 30 хвилин бродіння проводили одне обминання. Його метою було:

- видалення надлишкового вуглекислого газу;
- вирівнювання температури в масі;
- покращення умов для подальшого розвитку дріжджів;
- стабілізація структури тіста перед рестартом ферментативних процесів.

Після обминання тісто набувало більш щільної, але пластичної консистенції.

У дослідних зразках із більшим вмістом протеїну (7 % і 10 %) структура після

обминання ставала більш щільною, що характерно для тіста зі зниженим вмістом глютену.

Останні 25-30 хвилин бродіння характеризувалися стабілізацією процесів газоутворення та поступовим зростанням об'єму. У результаті тісто:

- 0 % протеїну (контроль) – збільшувалося в об'ємі приблизно вдвічі, мало виражену пористу структуру та добру еластичність;
- 5 % протеїну – демонструвало близькі до контролю показники;
- 7 % протеїну – зберігало задовільну пористість та еластичність;
- 10 % протеїну – піднімалося повільніше і формувало більш щільну структуру, що свідчить про обмеження глютенowego каркасу при високій частці заміни борошна.

Формування виробів. Після завершення основного бродіння тісто набувало достатньої еластичності та газонаповненості, що робило можливим перехід до етапу формування хлібних заготовок. Цей етап є вирішальним для забезпечення правильної геометричної форми виробів, рівномірної структури м'якуша та стабільності під час вистоювання й випікання.

Кожну порцію округлювали, створюючи початкове натягнення поверхневого шару.

Округлені заготовки розміщували безпосередньо на змащеному олією деко.

Особливості, які спостерігались:

- контрольне тісто легко набувало правильної форми;
- заготовки з протеїном добре тримали структуру, хоча були дещо щільніші;

Нижче представлено фотографії сформованих заготовок перед вистоюванням (рис. 3.19).



Рис. 3.19. Формування заготовок дослідних зразків на деко

Вистоювання є завершальним підготовчим етапом перед випіканням, під час якого сформовані заготовки проходять остаточне бродіння. На цьому етапі тісто підвищує об'єм, стабілізує свою структуру, рівномірно насичується газами та формує поверхневий шар, здатний витримувати інтенсивну теплову дію під час випікання.

Вистоювання проводили в теплому вологому середовищі за температури 32-35 °С протягом 40 хвилин, до збільшення об'єму приблизно в 1,5 раза. Заготовки розміщували безпосередньо на деко, зберігаючи інтервали для вільного розширення тіста.

Протягом перших 15-20 хвилин у всіх зразках спостерігалось активне накопичення газів і розширення заготовок. Темпи підйому залежали від концентрації конопляного протеїну, зокрема:

- 0 % та 5 % протеїну – збільшення об'єму відбувалося рівномірно й інтенсивно;
- 7 % та 10 % протеїну – помірний, але стабільний підйом;

Структура поверхні на цьому етапі ставала більш натягнутою, зменшувалась кількість нерівностей, тісто набувало рівномірної округлості.

Етап вистоювання визначає:

- здатність тіста витримати різку зміну середовища під час випікання,
- потенціал для формування пористості,

- рівномірність м'якуша.

Отримані дані підтвердили, що конопляний протеїн у концентрації 5-10 % практично не порушує механізм вистоювання.



Рис. 3.20. Стан сформованих заготовок перед випіканням

Надрізи на зразках №1, №2 та №3 виконувалися навмисно для візуального маркування (рис. 3.20).

Випікання є завершальним етапом технологічного процесу, під час якого відбувається закріплення структури хліба, формування скоринки, інтенсифікація ароматотворних реакцій та досягнення необхідних органолептичних властивостей. На цьому етапі всі процеси, що розпочалися у тісті під час замішування, бродіння та вистоювання, переходять у стадію фізико-хімічного та термічного перетворення, формуючи остаточні параметри готового виробу.

Випікання дослідних зразків проводили у хлібопекарській камері при температурі 220-240 °C протягом 20-25 хвилин. Температурний режим і

тривалість випікання були однаковими для всіх чотирьох зразків, що забезпечило об'єктивність порівняння отриманих результатів.

На початковому етапі (перші 3-5 хвилин) відбувався інтенсивний "пічний підйом", зумовлений активною дією вуглекислого газу та парів води, які ще не встигли вийти з тіста.

У цей період формувалася внутрішня структура м'якуша, від якої залежить рівномірність пористості, ступінь пропікання та еластичність готового виробу.

Усі зразки демонстрували інтенсивний і рівномірний підйом.

Починаючи з 8-10 хвилини, на поверхні заготовок активно формувалася скоринка. Її утворення відбувається внаслідок випаровування вологи, карамелізації цукрів і реакції Майяра, які надають хлібу характерного кольору і смаку.

Порівняння зразків показало такі особливості:

- 0 % (контроль) – світло-золотиста, рівномірна скоринка;
- 5 % протеїну – аналогічна кольоровість з легким потемнінням;
- 7 % та 10 % протеїну – більш виражений коричневий відтінок;

Підвищена інтенсивність забарвлення при більшому вмісті протеїну пов'язана з високою кількістю амінокислот, які беруть участь у реакції Майяра.

Після завершення термообробки отримали такі загальні характеристики хлібних виробів:

- Контрольний зразок (0 %) – добре пропечений, із рівномірною пористістю та еластичним м'якушем.
- 5 % протеїну – структура аналогічна до контролю, з ледь помітним ущільненням і потемнінням.
- 7 % протеїну – м'якуш помірно щільніший, але зберігає добру еластичність; аромат стає приємно горіховим.
- 10 % протеїну – найбільш щільний м'якуш, темніший колір. Присутні характерні нотки рослинного протеїну.

Охолодження хлібних виробів є обов'язковим завершальним етапом технологічного процесу, який забезпечує стабілізацію внутрішньої структури м'якуша та формування остаточних органолептичних характеристик. Від

правильності проведення охолодження залежить рівномірність розподілу вологи, еластичність м'якуша, стан скоринки та збереження форми виробу.

Після виймання з печі готові вироби залишали на решітці при кімнатній температурі до досягнення внутрішньої температури приблизно 30 °С. Це дозволяло запобігти накопиченню конденсату на поверхні та забезпечувало природне відведення надлишкової вологи.

Поступове охолодження попереджує деформацію та змінання виробів, що особливо важливо для зразків із підвищеним вмістом конопляного протеїну, які мають щільнішу структуру і потребують більш стабільного зміцнення каркасу.

Усі зразки (рис. 3.21) мали стандартну для формового пшеничного хліба опуклу верхню поверхню та рівномірно пропечену скоринку. Надрізи на зразках №1, №2 та №3 виконувалися навмисно для візуального маркування та не є ознакою деформації під час випікання.



Рис. 3.21. Готові зразки після охолодження.

3.2.3. Технологічна схема виробництва пшеничного хліба з конопляним протеїном

Виробництво пшеничного хліба з додаванням конопляного протеїну здійснювали безопарним способом, який передбачає приготування тіста в один етап шляхом одночасного змішування всіх інгредієнтів. Даний метод є раціональним для умов як промислового, так і лабораторного виробництва, оскільки відрізняється скороченою тривалістю технологічного циклу, зменшенням площ і кількості технологічного обладнання, а також стабільністю одержуваних результатів.

Особливістю технологічного процесу (рис. 3.22) є внесення конопляного протеїну на етапі замішування, що забезпечує його рівномірне розподілення у тісті та сприяє формуванню однорідної структури м'якуша. Завдяки частковій заміні борошна протеїном зберігається загальна маса сухих компонентів, що дозволяє порівнювати властивості тіста та готового виробу між зразками.

Загальний технологічний процес включає такі стадії:

- підготовку та дозування сировини;
- замішування тіста;
- бродіння тіста;
- поділ, округлення та формування заготовок;
- вистоювання;
- випікання;
- охолодження готових виробів.

Послідовність операцій для хліба з використанням конопляного протеїну ідентична традиційній схемі виробництва пшеничного хліба, за винятком внесення білкової добавки. Це дозволяє інтегрувати рецептуру у стандартні технологічні лінії без додаткового переобладнання та зберегти класичну структуру технологічного процесу.

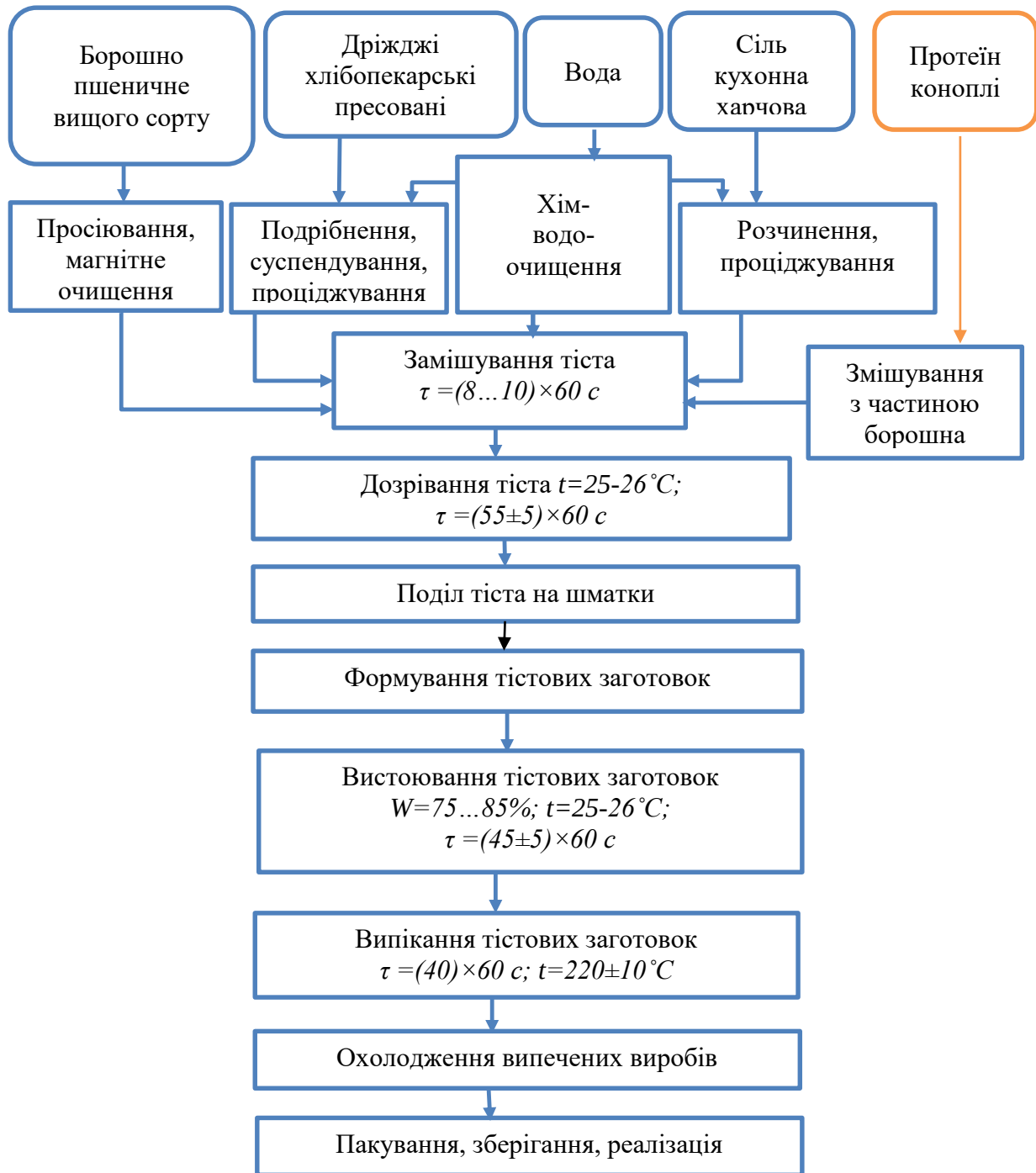


Рис. 3.22. Технологічна схема виробництва безопарним способом хліба пшеничного з використанням конопляного протеїну.

3.2.4. Апаратурно-технологічна схема виробництва

Апаратурно-технологічна схема (рис. 3.23) відображає послідовність основних операцій приготування хлібних виробів та перелік обладнання, що використовується на кожному етапі. Дані схеми є важливою частиною технологічного проєкту, оскільки дозволяють оцінити раціональність організації

процесу, визначити необхідні машини й механізми та забезпечити відтворюваність виробничих умов у лабораторних та промислових масштабах.

Для виготовлення пшеничного хліба з додаванням конопляного протеїну була застосована лінія, побудована за принципами безопарного способу, з використанням стандартного хлібопекарського обладнання. Усі основні операції – від підготовки сировини до випікання виробів – виконувалися на відповідних апаратах і машинах, що відповідають технологічним вимогам та забезпечують стабільність процесу.

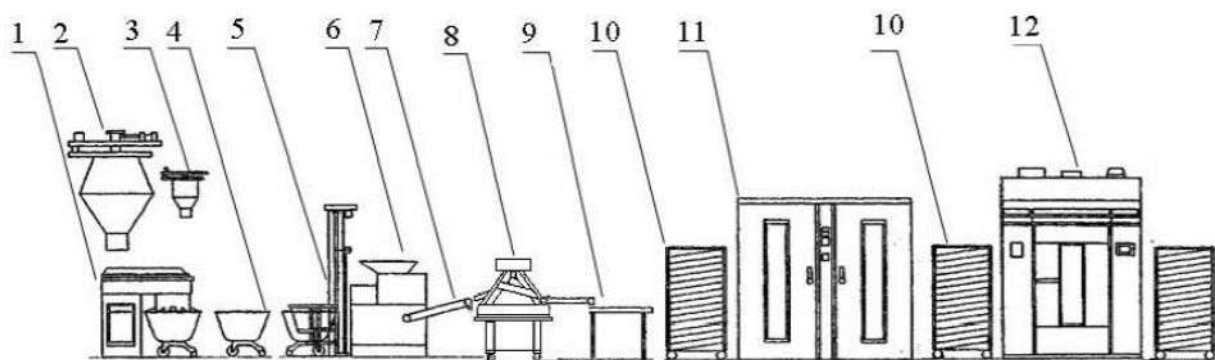


Рис. 3.23 - Апаратурно-технологічна схема виробництва хліба

Апаратурно-технологічна схема виробництва наведена на рисунку 3.X і включає такі основні елементи обладнання:

1. Тістоміс Gastromix HS 100B – використовується для механічного замішування тіста та формування його однорідної структури;
2. Ваговий дозатор сипких компонентів та борошна NPM 500 – забезпечує точне відважування та дозування борошна й сухих інгредієнтів;
3. Дозатор рідини Foyer A02 – призначений для точного внесення води та розчинених компонентів;
4. Діжа для тіста GoodFood A120 – використовується як змінна ємність для транспортування та тимчасового зберігання тістової маси;
5. Перекидач діжі GoodFood B200F – полегшує перевантаження тіста з діжі у тістоподільник або на робочу поверхню;
6. Тістоподільник Arach SDT 120 – забезпечує поділ тістової маси на рівні порції відповідної маси;
7. Транспортёр – переміщує сформовані порції тіста між операціями;

8. Тістоокруглювач Rotor Plus – використовується для надання заготовкам первинної округлої форми;
9. Виробничий стіл – застосовується для ручних технологічних операцій, таких як формування та розкладка виробів;
10. Контейнер із листами (деками) – використовується для тимчасового розміщення та транспортування заготовок;
11. Шафа розстойна Rauder CR – забезпечує оптимальні умови вистоювання виробів (температура та вологість);
12. Піч хлібопекарська Arach B46E – призначена для термічного оброблення (випікання) заготовок до готового виробу.

Схема дозволяє повністю відтворити технологічний процес та демонструє, що виробництво хліба з конопляним протеїном не потребує зміни класичної лінії. Додавання білкової рослинної сировини інтегрується у стандартний цикл без необхідності додаткового обладнання, що робить технологію доступною для впровадження на малих і середніх хлібопекарських підприємствах.

3.3 Органолептична оцінка готових виробів

Органолептичну оцінку проводили для визначення впливу різної кількості конопляного протеїну на зовнішній вигляд, стан м'якушки, аромат, смак та загальну якість готових виробів. Досліджували чотири зразки формового пшеничного хліба: контроль (0 % протеїну) та хліб із додаванням 5 %, 7 % і 10 % конопляного протеїну.

Зовнішній вигляд і стан скоринки

Усім зразкам (рис. 3.24-3.27) була притаманна правильна форма та рівномірне пропікання. Верхня скоринка рівна, без деформацій та впливів. Зі збільшенням частки конопляного протеїну забарвлення скоринки ставало темнішим: від золотисто-пшеничного у контролі до коричнюватого та коричнево-зеленуватого у зразку з 10 % протеїну. Темніший тон пов'язаний із природним пігментом конопляного білка та реакціями меланоїдиноутворення.

Структура та консистенція м'якушки

- **Контрольний зразок (0 %).** М'якуш світлий, пружний, з тонкостінною добре розвиненою пористістю. Структура еластична, швидко відновлює форму після натискання.

- **5 % протеїну.** М'якуш дещо темніший, але пористість залишається рівномірною. Еластичність висока, структура легка й пружна. На фото (рис. 3.25) видно, що загальна архітектура пор зберігається типовою для пшеничного хліба.

- **7 % протеїну.** Пористість стає дрібнішою, стінки пор – трохи товстіші. Еластичність м'якуша зменшується, але виріб зберігає достатню пружність. Колір темнішає, структура стає більш щільною.

- **10 % протеїну.** М'якуш однорідно дрібнопористий, найбільш щільний



Рис. 3.24 - Контрольний зразок



Рис. 3.25 - Зразок 1



Рис. 3.26 - Зразок 2



Рис. 3.27 - Зразок 3

серед усіх зразків. Через високий вміст білка структура стає компактнішою. Еластичність знижена, але м'якуш залишається пропеченим та рівномірним.

Такі зміни є типовими для збагаченого білком хліба та повністю узгоджуються з пористістю, визначеною експериментально.

Аромат і смак. Контрольний зразок мав традиційний пшеничний аромат та легку дріжджову кислинку. Додавання 5 % протеїну практично не змінювало аромат, лише злегка пом'якшувало дріжджову ноту. У зразку з 7 % кислинку майже не відчувалась, аромат став м'якшим. Для 10 % характерний легкий рослинно-горіховий тон, типовий для конопляного білка, але без сторонніх присмаків.

Таблиця 3.8

Органолептична оцінка хліба з додаванням конопляного протеїну

Показник	0	5%	7%	10%
Колір і стан скоринки	золотистий	Набуває коричневого відтінку	Набуває коричневого відтінку	Темний, подібний до житнього. Набуває коричнево-зеленуватого відтінку
Стан м'якушки	Пухка, еластична, пропечена, пориста, має світло жовтий відтінок	Пухка, пропечена, при натисканні добре відновлює структуру,	Пухка, еластична	Більш щільна, пропечена, менш еластична, має темнуватий колір більш подібний до житнього хліба
Аромат	Притаманний пшеничному хлібу	Аромат пшеничного хліба, трохи відчувається кислинку спиртових дріжджів	Має легкий приємний аромат, зникла кислість	Відчутний подібний до горіхового аромат протеїну коноплі
Смак	Притаманний пшеничному хлібу, з невеличкою кислинкою дріжджів	Притаманний пшеничному хлібу, з невеличкою кислинкою дріжджів	М'який, легкий приємний смак, зникла кислість дріжджів	Насичений трав'янисто - горіховий смак, має подібність до житнього хліба
Пористість	Однорідна та тонкостінна	Однорідна та тонкостінна	Висока, однорідна, добре розвинута, тонкостінна	Однорідна, добре розвинута, тонкостінна

За результатами органолептичної оцінки (таб. 3.8) оптимальним рівнем внесення конопляного протеїну є 5-7 %, оскільки ці зразки зберігають:

- властиву пшеничному хлібу пористість,
- пружність та еластичність м'якуша,
- гармонійний смак без надмірної щільності,

- приємний аромат без домінування рослинних нот.

При додаванні 10 % структура стає відчутно щільнішою, а смак – виражено горіхово-трав'янистим, що може бути прийнятним, але вже змінює типову характеристику пшеничного хліба.

3.4 Фізико-хімічні показники готових хлібних виробів

Фізико-хімічні показники є об'єктивною характеристикою якості хлібобулочних виробів і дозволяють оцінити вплив конопляного протеїну на властивості готового хліба. Дослідження включало визначення вологості, кислотності та пористості м'якушки за загальноприйнятими стандартами галузі.

Вологість м'якушки

Вологість визначали висушуванням підготовленої проби м'якушки у сушильній шафі СЕШ-3М при температурі 130 °С протягом 40 хвилин. Попередньо із середньої частини хлібного виробу вирізали виїмки м'якушки масою 12-15 г, подрібнювали їх, ретельно перемішували та відбирали 5 г для аналізу. Висушені бюкси охолоджували в ексікаторі та зважували.

Вологість визначали за формулою:

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \cdot 100$$

де:

m_1 – маса бюкса з крихтами до висушування, г;

m_2 – маса бюкса з крихтами після висушування, г;

m – маса наважки м'якушки, г.

Отримані дані подано у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Вологість м'якушки хлібних виробів

Виріб	Вологість, %
Контроль	43,1
5 % протеїну	42,9
7 % протеїну	42,5
10 % протеїну	42,1

Зменшення вологості з підвищенням концентрації конопляного протеїну свідчить про зниження вологоутримувальної здатності тіста. Це корелює з

візуальним аналізом м'якушки: структура зразків із 7-10 % протеїну є більш щільною та сухішою на вигляд.

Кислотність м'якушки

Кислотність визначали титруванням водної суспензії м'якушки 0,1 М розчином NaOH у присутності фенолфталеїну до стійкого блідо-рожевого забарвлення. Для аналізу брали 25 г подрібненої м'якушки, змішували її з 250 мл води температурою 60 °С, інтенсивно збовтували та фільтрували. Із фільтрату відбирали 50 мл і титрували.

Кислотність розраховували за формулою:

$$X = 2 \cdot V \cdot K$$

де:

X – кислотність, град;

V – об'єм 0,1 М розчину NaOH, витрачений на титрування, мл;

K – поправочний коефіцієнт ($K = 1$).

Результати наведено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Кислотність м'якушки хлібних виробів

Виріб	Об'єм розчину NaOH, мл	Кислотність, град
Контроль	0,72	1,45
5 % протеїну	1,22	2,44
7 % протеїну	1,25	2,50
10 % протеїну	1,31	2,62

Отримані дані свідчать, що внесення конопляного протеїну спричиняє помірне підвищення кислотності м'якушки порівняно з контрольним зразком, що узгоджується з інтенсифікацією бродильних процесів у присутності білково-мінеральної добавки. Проте навіть за максимального вмісту протеїну (10 %) кислотність не перевищує нормативні значення для пшеничного хліба (3-4°), що підтверджує технологічну придатність рецептури та відсутність небажаних зрушень у кисло-лужному балансі готових виробів.

Пористість м'якушки

Пористість визначали приладом «Журавльова» (рис. 3.28) шляхом отримання виїмок м'якушки об'ємом 27 см³ із подальшим зважуванням. Пористість розраховували за формулою:

$$V = \left(\frac{V_{\text{заг}} - (m/\rho)}{V_{\text{заг}}} \right) \cdot 100$$

де:

V – пористість, %;

$V_{\text{заг}}$ – загальний об'єм циліндрів (Σ 27 см³), см³;

m – маса виїмок, г;

ρ – густина безпористої маси м'якушки для пшеничного хліба I сорту (1,31 г/см³).

Дані наведено в таблиці 3.11.



Рис. 3.28. Визначення пористості

Таблиця 3.11

Пористість м'якушки хлібних виробів

Виріб	Пористість виїмок	Пористість, %
Контроль	25,2	76,2
5 %	23,9	77,0
7 %	25,5	76,1
10 %	27	74,5

Підвищення пористості у зразках з 5 % та 7 % протеїну узгоджується з більш інтенсивною роботою дріжджів, що було підтверджено результатами ферментативних досліджень. Невелике зниження пористості при 10 % пов'язане із суттєвим ослабленням клейковинної сітки та ущільненням м'якушки.

Визначення пружності клейковини на приладі ВДК-7

У процесі дослідження пружність оцінювали на приладі ВДК-7 (рис. 3.29), який фіксує величину деформації кульки клейковини під дією стандартного навантаження протягом 30 секунд: менше значення – краща пружність; більше значення – нижча пружність.

Кульку сирої клейковини розміщували на робочому столику ВДК-7, після чого пуансон здійснював стискання протягом регламентованого часу. За результат приймали середнє арифметичне двох паралельних вимірювань для кожного зразка. Результати наведено в таблиці 3.12.



Рис. 3.29. ВДК-7

Таблиця 3.12

Пружність клейковини хлібних виробів за показниками приладу ВДК-7

Зразок	Показник деформації, ум. од.
Контроль	150
5 % протеїну	140
7 % протеїну	136
10 % протеїну	128

Додавання конопляного протеїну сприяло зменшенню деформації кульки клейковини, що вказує на підвищення її пружних властивостей. Це свідчить про зміцнення білкової структури та формування більш еластичного клейковинного каркасу у тісті.

Отримані дані узгоджуються з результатами інших фізико-хімічних показників і підтверджують позитивний вплив конопляного протеїну на реологічні властивості тіста, особливо за вмісту 7-10 %.

Загальна характеристика фізико-хімічних змін

Комбінований аналіз показників дозволяє виділити такі закономірності:

- Додавання 5-7 % протеїну забезпечує оптимальний баланс між вологістю, кислотністю та пористістю.
- Зразки з цими концентраціями зберігають властивості, притаманні пшеничному хлібу високої якості.

- 10 % протеїну створює помітно щільніший м'якуш із нижчою вологістю та пористістю, але всі показники залишаються в межах норми.

Висновки до розділу 3

У межах експериментальної частини дослідження всебічно оцінено вплив конопляного протеїну на показники якості сировини, напівфабрикатів та готових хлібних виробів.

1. Пресовані дріжджі, використані у роботі, відповідали нормативним вимогам, що підтверджено визначенням вологості (71 %) та кислотності (276 мг оцтової кислоти на 100 г). Це забезпечило коректність подальших біотехнологічних досліджень.
2. У конопляному протеїні встановлено високий вміст білка, наявність вільних амінокислот (280 мг/100 г), флавоноїдів (400 мкг/100 г) та вітаміну С (12,33 мг/100 г). Це підтверджує його високу біологічну цінність та функціональну придатність для збагачення хліба.
3. Мікробіологічні показники протеїну були задовільними: відсутність патогенної та пліснявої мікрофлори засвідчила його безпечність і можливість застосування у харчових технологіях.
4. Морфологічні дослідження дріжджів показали стимулювальний вплив конопляного протеїну: збільшення кількості життєздатних клітин, активне брунькування та збереження життєздатності навіть після 12 год культивування.
5. Ферментативна активність дріжджів зростала за внесення 10 % протеїну, що підтверджено скороченням часу зимазної та мальтазної активності. За 20 % ефект був помірним, а за 30 % – майже зникав.
6. Підіймальна сила дріжджів була найвищою при 10 % протеїну, що свідчить про інтенсифікацію газоутворення. Надмірна кількість протеїну (30 %) знижувала активність.
7. Визначення клейковини показало, що зі збільшенням частки протеїну маса клейковини, розтяжність і пружність зростали, однак надлишок протеїну призводив до щільнішої структури.

8. Розроблені рецептури (5 %, 7 %, 10 % протеїну) та стандартизована технологія приготування забезпечили можливість коректного порівняння впливу добавки на якість хліба.
9. Органолептичний аналіз підтвердив, що оптимальними є зразки з 5-7 % протеїну: вони зберігають властиву пшеничному хлібу структуру, пористість, еластичність та смак. За 10 % м'якуш ставав щільнішим, смак – виражено рослинним.
10. Фізико-хімічні показники готових виробів продемонстрували закономірності:
 - з ростом частки протеїну вологість і кислотність знижувалися;
 - пористість зростала за 5-7 % і зменшувалася за 10 %.

Загальний висновок: оптимальним рівнем внесення конопляного протеїну у пшеничний хліб є 5-7 %, оскільки саме за цих концентрацій забезпечується найкращий баланс між покращенням харчової цінності виробу та збереженням його органолептичних, фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

Для виробництва батонів з додаванням конопляного протеїну використовується високоякісний конопляний протеїн, який є основною дорогою складовою. Аналіз показав, що:

- Середня роздрібна ціна конопляного протеїну становить 690 грн/кг.
- Гуртова закупівля дозволяє знизити ціну на 50%, до 345 грн/кг.

Це значно впливає на кінцеву собівартість продукту, оскільки протеїн додається у ваговій частці 5%, 7% або 10% залежно від рецептури.

Для орієнтовного співвідношення з ринком використано офіційні статистичні дані:

Середня ціна батона в Україні у вересні 2025 р. становила 30,04 грн за 500 г, що відповідає приблизно 60,08 грн/кг [45].

Середня роздрібна ціна пшеничного борошна (на прикладі м. Києва) у вересні 2025 р. становила близько 22,99 грн/кг, що узгоджується з динамікою по Україні [46]. Для подальших розрахунків приймаємо орієнтовну середню ціну борошна 23 грн/кг.

Для економічної частини зроблене припущення, що інші складові (вода, дріжджі, сіль, цукор, олія, енергоносії, праця) залишаються незмінними, а ведеться аналіз лише додаткових витрат на сировину у вигляді конопляного протеїну замість частини борошна.

Це дозволяє оцінити додаткові витрати саме на протеїнову добавку.

Вартість протеїну для одиниці виробу.

Для одного хліба (умовно 0,5 кг) згідно з рецептурою використовується:

- 5 % протеїну – 10 г конопляного протеїну;
- 7 % протеїну – 15 г;
- 10 % протеїну – 20 г.

Вартість цієї кількості протеїну:

- При гуртовій ціні 345 грн/кг:
 - 10 г: $0,01 \times 345 = 3,45$ грн;
 - 15 г: $0,015 \times 345 = 5,18$ грн (орієнтовно);

- $20 \text{ г}: 0,02 \times 345 = 6,90 \text{ грн.}$
- При роздрібній ціні 690 грн/кг:
 - $10 \text{ г}: 0,01 \times 690 = 6,90 \text{ грн.}$
 - $15 \text{ г}: 0,015 \times 690 = 10,35 \text{ грн.}$
 - $20 \text{ г}: 0,02 \times 690 = 13,80 \text{ грн.}$

Таким чином, навіть при гуртовій закупівлі вартість тільки конопляного протеїну в одному батоні становить від 3,45 до 6,90 грн, а при використанні роздрібної ціни – від 6,90 до 13,80 грн.

Економія на борошні за рахунок часткової заміни

Заміна частини борошна протеїном супроводжується не лише додатковими витратами, а й невеликою економією пшеничного борошна.

- За ціни 23 грн/кг:
 - $10 \text{ г борошна} \approx 0,01 \times 23 = 0,23 \text{ грн.}$
 - $15 \text{ г борошна} \approx 0,35 \text{ грн.}$
 - $20 \text{ г борошна} \approx 0,46 \text{ грн.}$
- Тобто при заміні:
 - 5 % (10 г): економія борошна $\approx 0,23 \text{ грн.}$
 - 7 % (15 г): економія $\approx 0,35 \text{ грн.}$
 - 10 % (20 г): економія $\approx 0,46 \text{ грн.}$

Таблиця 4.1

Чиста додаткова собівартість за рахунок протеїну

Вміст протеїну	Сценарій закупівлі	Вартість протеїну в 1 виробі, грн	Зекономлено борошна, грн	Додаткова собівартість, грн
5 % (10 г)	Гурт (345 грн/кг)	3,45	0,23	$\approx 3,22$
7 % (15 г)	гурт	5,18	0,35	$\approx 4,83$
10 % (20 г)	гурт	6,90	0,46	$\approx 6,44$
5 % (10 г)	роздріб (690 грн/кг)	6,90	0,23	$\approx 6,67$
7 % (15 г)	роздріб	10,35	0,35	$\approx 10,00$
10 % (20 г)	роздріб	13,80	0,46	$\approx 13,34$

Отже, при гуртових цінах (таб. 4.1) додаткові витрати на 1 батон становлять орієнтовно:

- при 5 % протеїну – +3,2 грн до собівартості;
- при 7 % – +4,8 грн;
- при 10 % – +6,4 грн.

Висновок до розділу 4

Аналіз економічних показників показав, що внесення 5 % конопляного протеїну є найбільш доцільним з погляду собівартості, технологічної стабільності та споживчих характеристик. Така кількість добавки підвищує харчову цінність хліба, не спричиняючи суттєвих змін у структурі, пористості, вологості та органолептичних властивостях, завдяки чому продукт залишається конкурентоспроможним у сегменті функціональних виробів.

Попри збільшення витрат на сировину, кінцева ціна виробу залишається прийнятною для споживачів, оскільки зростання вартості є типовим для оздоровчої продукції та компенсується підвищеною біологічною цінністю хліба. Виріб з додаванням протеїну може бути успішно орієнтований на споживачів із підвищеною потребою в рослинному білку та харчових волокнах.

Гуртова закупівля протеїну дозволяє суттєво знизити собівартість виробництва і підвищити його рентабельність, створюючи економічні передумови для розширення асортименту хлібобулочних виробів функціонального призначення.

Отримані розрахунки та результати експериментів підтверджують, що оптимальним є використання 5-7 % конопляного протеїну, оскільки саме ця кількість забезпечує найкращий баланс між економічною ефективністю, підвищенням біологічної цінності та збереженням високих споживчих властивостей готового хліба.

ВИСНОВКИ

У роботі обґрунтовано доцільність використання конопляного протеїну для удосконалення технології пшеничного хліба та підвищення його харчової цінності. Конопляний протеїн є цінним джерелом білка, мінеральних речовин і вітамінів, має добрі емульгуючі та структуроутворювальні властивості, що дозволяє успішно застосовувати його у хлібопеченні.

Експериментальна частина дослідження підтвердила, що внесення конопляного протеїну у кількості 5-10 % до маси борошна впливає на активність дріжджів, структурно-механічні властивості тіста та якість готового виробу. Додавання протеїну сприяє зростанню харчової цінності хліба завдяки збільшенню вмісту білків, харчових волокон і мікронутрієнтів. Виявлено, що найбільш оптимальний рівень внесення становить 5-7 %, оскільки у цьому діапазоні зберігаються задовільні органолептичні й фізико-хімічні показники: пористість, еластичність м'якушки, структура та колір не зазнають критичних змін. За внесення 10 % протеїну спостерігається тенденція до ущільнення м'якушки та зниження формостійкості, що потребує додаткових технологічних коригувань.

Економічний аналіз засвідчив, що основний чинник зростання собівартості – вартість конопляного протеїну. Додаткові витрати на один батон становлять 3,2-6,4 грн при гуртовій ціні протеїну.

Загалом результати дослідження підтверджують ефективність використання конопляного протеїну як інгредієнта для підвищення харчової цінності пшеничного хліба та формують підґрунтя для його промислового впровадження й подальших наукових досліджень.

Результати досліджень опубліковано на III Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених **«Інноваційні технології розвитку харчових виробництв та ресторанної індустрії: наукові пошуки молоді»**.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арсеньева Л. Ю., Наукове обґрунтування та розроблення технології функціональних хлібобулочних виробів з рослинними білками та мікронутрієнтами., Національний університет харчових технологій. Київ., 2007. 360 арк.
2. Сімахіна Г.О. Науменко Н.В., Зв'язок харчування та стану здоров'я населення., Національний університет харчових технологій Київ, Україна 2020 URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/c20ae99e-7b6a-490a-bbf6-c82f1e2104c8/content>.
3. Mayer B. A., Chesak J., Here's How Much Protein You Need in a Day to Build Muscle, 2025 URL: <https://www.healthline.com/health-news/how-much-protein-per-day-build-muscle>.
4. Department of Health Victoria State Government, Sporting performance and food. Canada, 2024 URL: https://www.betterhealth.vic.gov.au/health/healthyliving/sporting-performance-and-food?utm_source=chatgpt.com#where-to-get-help.
5. Галушко Н.А., Еволюція системи харчування населення незалежної України. 2018 URL: <http://protox.medved.kiev.ua/index.php/ua/categories/food-safety/item/565-evolution-of-nutrition-system-of-the-population-of-independent-ukraine>.
6. Алексейчук Л.Б. , Дослідження впливу компонентів тіста на підйомну силу хлібопекарських дріжджів. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»., 2014. 176 с..
7. Дробот В. І. , Довідник з технології хлібопекарського виробництва. Київ,, 2019. 580 с..
8. Дробот В.І., Юрчак В.Г., Білик О.А. , Техномічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів: навчальний посібник. Київ., 2015. 972с.
9. Антонюк І. Ю., Харчова та біологічна цінність булочних виробів із добавками мікронізованих зерен пшениці, проса й насіння льону. Громадське харчування і туристична індустрія у ринкових умовах. Зб. наук. пр. Київ: КНТЕУ., 2001. С 142-147.

10. Бортнічук О. В., Удосконалення технології хлібобулочних виробів геродієтичного призначення. Київ, НУХТ,, 2018 р. 178 с.
11. Олійник С.Г., Лисюк Г.М., Кравченко О.І., Самохвалова О.В., Технології хлібобулочних виробів із продуктами переробки зародків пшениці. Монографія. Міністерство освіти і науки України, ХДУХТ, 2014. 108 с.
12. Бутенко Л. М., Слободянюк Н. М., Андрощук О. С. , Вплив науки про харчування на технологію якісних та безпечних продуктів. Хлібопекарська і кондитерська справа. № 5., 2013 С. 24-25.
13. Іваненко О.П., Петренко В.В., Вплив рослинних білкових добавок на якість хлібобулочних виробів. Харчова промисловість України., 2021, №3, с. 56-62.
14. Бажай-Жежерун С.А. Береза-Кіндзерська Л.В. Тогачинська О.В., Підвищення харчової цінності хліба шляхом збагачення його рослинною білкововмісною сировиною. Технологія харчової та легкої промисловості. 2021, Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. URL: https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/2_2021/part_2/21.pdf.
15. Резнікова Л.Г., Розробка технології хлібобулочний і борошняних кондитерських виробів профілактичного призначення з використанням продуктів переробки цикорія коренеплідного, Київ, 2009. с.1-27.
16. Михайлова М.І., Савченко О. М., Дослідження антиоксидантних властивостей фітоекстрактів плодів гранату та грейфрутового дерева// Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі : Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених, (м. Чернігів, 8-9 квітня 2020 р.): тези доповідей. Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2020. С. 356..
17. Пахомська О.В., Науковий підхід до створення хлібобулочних виробів функціонального призначення. Наукові праці Національного університету харчових технологій. Том 25 № 2, 2019. URL: https://ir.vtei.edu.ua/g.php?fname=25890.pdf&utm_source=chatgpt.com.
18. Савченко О.М., Курс лекцій "Харчові технології." Національний університет "Чернігівський колегіум" імені Т.Г. Шевченка, 2022.

19. Грегірчак Н.М. , Мікробіологія галузі: конспект лекцій для студентів напрямку підготовки «Харчові технології та інженерія» К.: НУХТ, 2015.
20. Лебеденко Т.Є., Кожевнікова, В.О., Соколова Н.Ю. , Удосконалення процесу активації дріжджів шляхом використання фіто добавок. Одеська національна академія харчових технологій., 2015. №2(31). с.25-31.
21. Махинько В.М., Черниш Л.М., Високобілкові добавки в хлібопеченні. Національний університет харчових технологій, Київ,, 2020 URL:
<https://dspace.nuft.edu.ua/bitstreams/4222097f-67ef-4e05-be3f-5d8792a9d3e1/download>.
22. Олішевський В.В., Маринін А.І., Білик О.А., Васильченко Т.О., Комплексне збагачення хлібобулочних виробів мінеральними речовинами. 2021, URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/795a35bc-cdde-4246-ac44-0826c33869bd/content> .
23. Олішевський В. В, Збагачення хлібобулочних виробів біогенними мінеральними речовинами 2015, URL:
<https://media.neliti.com/media/publications/311437-enrichment-of-bakery-products-with-bioge-98d78d1d.pdf>.
24. Ланська В. Д., Гетьман І. А. , Вплив клітковини картоплі на реологічні показники тіста та якість соргового хліба на рисовій заквасці. Том 12 № 23 2024: Продовольчі ресурси, URL:
<https://iprjournal.kyiv.ua/index.php/pr/article/view/753>.
25. Панасюк С. Г., Тараймович І.В., Використання овочево-фруктових порошків як інноваційних інгредієнтів у рецептурі крафтових хлібобулочних виробів. 2022,
https://www.researchgate.net/publication/365613111_VIKORISTANNA_OVOCHOVO-FRUKTOVIH_POROSKIV_AK_INNOVACIJNIH_INGREDIENTIV_U_RECEPTURII_KRAFTOVIH_HLIBOBULOCNIH_VIROBIV.
26. Бондаренко Ю. В., Білик О. А., Бондар В. І., Лук'яненко К. О. , Дослідження впливу інуліну з цикорію на якість пшеничного хліба. 2018, URL:
<https://journals.uran.ua/tarp/article/download/134979/143641>.

27. Науменко О. В., Гетьман І. А., Чиж В. М., Гунько С. М., Баль-Прилипко Л. В., Білько М. В., Центилю Л. В., Лялик А. Т., Іваницька А. П., Ляшенко С. О., Підвищення якості пшеничного хліба збагаченням борошном тефу., 2020 с. 33-41 .

28. Коваленко М. О., Дослідження впливу фітодобавки на основі зелених паростків пшениці на якість пшеничного хліба. Інженерія та енергетика. Харчові технології та інженерія., 2015 с. 4-5.

29. Резвих, Н. І., Горач, О. О., Насіння ненаркотичних конопель – сировина для харчової промисловості, Таврійський науковий вісник. 2021. Серія: Технічні науки, (3), с. 79-86. URL: <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.10>.

30. Роль Н.В., Надточій В.М., Цебро А.Д., Вовкогон А.Г., Мерзлова Г.В., Калініна Г.П., Гребельник О.П., Конопляна сировина: нові перспективи для харчової промисловості. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2021. № 1. С. 152-158., URL:

https://www.researchgate.net/publication/353216193_Hemp_raw_materials_new_perspectives_for_the_food_industry/fulltext/60eda76bfb568a7098a6efc1/Hemp-raw-materials-new-perspectives-for-the-food-industry.pdf.

31. Шевченко Г.М., Характеристика функціональних властивостей конопляного протеїну. Наукові праці Національного університету харчових технологій., 2020, №12, с. 88-93..

32. Коваленко Н.С., Білоус А.В., Використання білкових концентратів у хлібопекарському виробництві. Продовольчі ресурси. 2019., №7, с. 100-107.

33. Axentii M., Codina G.G, Exploring the Nutritional Potential and Functionality of Hemp and Rapeseed Proteins. 2024, URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/9/1195>.

34. Кузнєцов А.В., Функціональні харчові продукти: теорія і практика., Харків: ХНТУСГ, 2019.

35. ДСТУ 46.004-99, "Борошно пшеничне. Технічні умови".

36. ДСТУ 4812-2007, "Дріжджі хлібопекарські пресовані. Технічні умови".

37. ДСанПіН 2.2.4-171-10, "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною".

38. ДСТУ 3583:2015 , "Сіль кухонна. Загальні технічні умови. З поправкою".
39. ДСТУ 4623:2023, "Цукор. Технічні умови".
40. ДСТУ 4492:2017 , "Олія соняшникова. Технічні умови".
41. Савченко О.М., Сиза О.І., Методичні вказівки. Харчова хімія. Розділ: Основи біохімії. Чернігів, 2023.
42. С. О. Челябієва В.М., Технічна мікробіологія. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт., Чернігів ЧНТУ, 2013.
43. K. B. P. P. H. M. Lancarcova A., Nutritional quality of hemp seed in different environments. Journal of Central European Agriculture, 2021 URL: https://jcea.agr.hr/articles/772609_Nutritional_quality_of_hemp_seeds_%28Cannabis_sativa_L_%29_in_different_environments_en.pdf.
44. ДСТУ 7045:2009. Вироби хлібобулочні. Методи визначання фізико-хімічних показників. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83710.
45. Мінфінмедіа, Середні ціни в Україні: Батон. URL: https://index.minfin.com.ua/ua/markets/product-prices/long_loaf.
46. Мінфінмедіа, Середні ціни в Києві: Борошно пшеничне URL: https://index.minfin.com.ua/ua/markets/product-prices/kiev/wheat_flour.

Додаток А

Апробація результатів роботи.

Результати досліджень опубліковано на III Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Інноваційні технології розвитку харчових виробництв та ресторанної індустрії: наукові пошуки молоді».



Додаток Б

Рекомендації для промислового впровадження.

На основі результатів експериментальних досліджень, аналізу технологічних показників тіста та якості готових виробів, а також економічного обґрунтування, сформовано такі рекомендації щодо промислового впровадження технології пшеничного хліба з додаванням конопляного протеїну: **Оптимальний відсоток внесення протеїну.** Для промислового виробництва доцільно використовувати **5-7 % конопляного протеїну** до маси пшеничного борошна. Саме цей діапазон забезпечує:

- стабільні технологічні властивості тіста;
- достатню активність дріжджів;
- високу пористість і еластичність м'якушки;
- гармонійні органолептичні характеристики;
- економічну доцільність та конкурентну собівартість.

Внесення **10 % протеїну** можливе, але потребує технологічних коригувань через тенденцію до ущільнення м'якушки та зниження формостійкості.

Вимоги до сировини

- Використовувати **конопляний протеїн з підтвердженою мікробіологічною безпечністю** та стабільним хімічним складом, зокрема вмістом білка, амінокислот і вітаміну С.
- Дріжджі повинні відповідати показникам вологості та кислотності, встановленим у дослідженні, що забезпечує стабільну ферментативну активність.

Особливості технологічного процесу

1. **Заміс тіста.** Тісто з протеїном має підвищену водопоглинальну здатність, тому потребує корекції кількості води залежно від відсотка внесення.
2. **Бродіння.** За 5-7 % протеїну час підйому тіста суттєво не змінюється, проте слід контролювати температуру і активність дріжджів. За 10 % можливе уповільнення бродіння, тому може знадобитися продовження часу вистоювання.

3. **Формування та випікання.** Вироби з 5-7 % протеїну мають стабільну формостійкість, не потребують змін режимів випікання. Зразки з 10 % протеїну рекомендовано випікати **формовим способом**, що узгоджується з відомими закономірностями впливу високобілкових добавок на структуру тіста.

Органолептичний контроль Для забезпечення стабільної якості продукції необхідно контролювати:

- колір м'якушки (можливий зеленувато-бежевий відтінок);
- пористість та еластичність структури;
- смак і аромат, зокрема виражені горіхові ноти, характерні для протеїну.

Економічні аспекти:

- Рекомендується здійснювати **гуртову закупівлю** конопляного протеїну, що зменшує його вартість приблизно вдвічі й суттєво знижує собівартість готового виробу.
- Оптимальним для ринку є хліб із **5 % протеїну**, оскільки він має найкраще співвідношення «ціна-якість».
- Вироби з 7 % протеїну також економічно виправдані та можуть бути позиціоновані як продукція підвищеної харчової цінності.

Маркетингове позиціонування. Вироби з конопляним протеїном можуть бути рекомендовані для таких категорій споживачів:

- спортсменів та осіб із високою фізичною активністю;
- вегетаріанців;
- людей, що дотримуються здорового харчування;
- споживачів, які потребують підвищеного вмісту білка та харчових волокон.

На упаковці доцільно підкреслити природний склад та відсутність синтетичних добавок.

Дотримання нормативних вимог. Рекомендовано забезпечити:

- відповідність показникам ДСТУ щодо хлібобулочних виробів;
- проведення періодичного лабораторного контролю показників вологості, кислотності, пористості та масової частки білка.

Додаток В

Подальші перспективи досліджень

Результати проведених досліджень відкривають низку напрямів для подальшої наукової роботи, пов'язаної з удосконаленням технології пшеничного хліба з використанням конопляного протеїну. Перспективними є такі напрямки:

Дослідження впливу інших концентрацій конопляного протеїну

У роботі проаналізовано рівні 5 %, 7 % та 10 %. Перспективним є:

- розширення діапазону внесення добавки (нижче 5 % або вище 10 %),
- пошук оптимальної межі, за якої зберігаються органолептичні та технологічні показники.

Це дозволить точніше визначити поріг, за якого білкова добавка починає негативно впливати на формостійкість, пористість і текстуру виробу.

Вивчення впливу конопляного протеїну на реологічні властивості тіста

У роботі встановлено зміни у структурно-механічних показниках клейковини, однак доцільно:

- провести детальні реологічні дослідження (розтяжність, опір деформації, газоутримання),
- оцінити формування білкової матриці в динаміці бродіння.

Це поглибить розуміння механізмів впливу протеїну на структуроутворення.

Мікробіологічні аспекти взаємодії протеїну з дріжджами

Дослідження показали підвищення активності дріжджів за рахунок амінокислот і мікроелементів протеїну. Подальша робота може включати:

- оцінку впливу протеїну на різні раси дріжджів,
- вивчення вторинних метаболітів бродіння,
- порівняння ефективності активації дріжджів при різних типах живильних середовищ.

Це може привести до оптимізації процесу бродіння для різних технологічних умов.

Розробка рецептур для інших видів хлібобулочних виробів

Отримані результати можуть бути поширені на:

- здобні вироби,
- листкове та бездріжджове тісто,
- цільнозернові та дієтичні види хліба.

Кожен тип тіста по-різному реагує на білкові добавки, тому дослідження можуть відкривати нові технологічні рішення.

Дослідження показників зберігання та черствіння

В роботі встановлено зміну вологості та пористості м'якушки. Перспективним є:

- вивчення швидкості ретроградації крохмалю,
- оцінка втрати еластичності в процесі зберігання,
- визначення зміни мікробіологічної стійкості.

Це дозволить прогнозувати термін придатності хліба з різними концентраціями протеїну.

Оптимізація економічної моделі виробництва

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на:

- моделювання собівартості при різних обсягах виробництва,
- оцінку рентабельності при зміні цін на сировину,
- визначення оптимального сегмента ринку для промислового впровадження.

Такі розрахунки потрібні для масштабування виробництва.

Вивчення споживчого сприйняття продукту

Оскільки конопляний протеїн змінює смак і колір хліба, перспективним є:

- проведення дегустаційних панелей різних груп споживачів,
- дослідження рівня прийнятності хліба з 5-10 % протеїну,
- визначення оптимального позиціонування та маркування продукту.

Біохімічні дослідження харчової цінності

Конопляний протеїн містить широкий спектр амінокислот, мінералів та вітамінів. Подальші дослідження можуть уточнити:

- зміни амінокислотного складу у готовому виробі після випікання,
- біодоступність мінералів,
- вплив протеїну на антиоксидантну активність хліба.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на поглиблення розуміння впливу конопляного протеїну на технологічний процес, оптимізацію рецептур під різні види виробів, підвищення споживчої привабливості та розширення можливостей промислового впровадження.

Звіт подібності

Метадані

Назва організації
National University "Chernihiv Collegium"

Заголовок
Удосконалення технології пшеничного хліба за використання протеїнів коноплі

Автор
Олександр Вадимович Кльовий О. М. Савченко

Назва організації
National University "Chernihiv Collegium"

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		28
Інтервали		0
Мікропробіли		48
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		31

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копії тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

		Копії тексту
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Investigation of the emulsions based on functional food compositions containing protein Василь Миколайович Пасічний, Оксана Петрівна Фурськ, Ігор Мирославович Страшинський;	35 0.18 %
2	https://jukanfood.com.ua/ua/p1239057646-protein-konoplyanyj-vanilnyj.html	29 0.15 %
3	PHYTO SUPPLEMENTS BASED ON GREEN SHOOTS OF WHEAT IN BREAD MAKING Коваленко Марина Сергіївна, Сиза Ольга Іллівна, Купчик Олена Юріївна, Савченко Олесь Миколайович;	25 0.13 %

4	2024_M_461_181-HK-13m_Polishchuk_D_P 12/6/2024 State Biotechnological University (Кафедра технології хлібопродуктів і кондитерських виробів)	21 0.11 %
5	2024_M_461_181-HK-13m_Polishchuk_D_P 12/6/2024 State Biotechnological University (Кафедра технології хлібопродуктів і кондитерських виробів)	21 0.11 %
6	Циклоаліл-α-амінокетони в синтезі похідних 5-заміщених-1,3-оксазолів.doc 12/11/2020 National University "Chernihiv Collegium" (National University "Chernihiv Collegium")	20 0.10 %
7	181_Швець_Андрій_Вікторович_ТРАП_2024 12/5/2024 National University of Food Technologies (Кафедра технології ресторанної і аперитивної продукції)	20 0.10 %
8	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ХЛІБА ПШЕНИЧНОГО, ЗБАГАЧЕНОГО НАСІННЯМ ГАРБУЗОВИХ КУЛЬТУР 9/1/2021 National University Chernihiv Politechnika (NUCP) 2 (Дипломні роботи)	19 0.10 %
9	https://dukanfood.com.ua/ua/p1239057846-protein-konoplyanyi-vanilnyi.html	18 0.09 %
10	Дослідження вмісту рухомих форм Феруму, Цинку та Плюмбуму в ґрунті.doc.docx 6/8/2020 National University "Chernihiv Collegium" (National University "Chernihiv Collegium")	17 0.09 %

з бази даних RefBooks (0.56 %)

порядковий номер	заголовок	кількість ідентичних слів (фрагментів)
джерело: Paperity		
1	PHYTO SUPPLEMENTS BASED ON GREEN SHOOTS OF WHEAT IN BREAD MAKING Коваленко Марина Сергіївна, Сиза Ольга Іллівна, Купчик Олена Юріївна, Савченко Олесь Миколайович;	60 (5) 0.30 %
2	Investigation of the emulsions based on functional food compositions containing protein Василь Миколайович Пасічний, Оксана Петрівна Фурсік, Ігор Мирославович Страшинський;	35 (1) 0.18 %
3	EXAMPLES OF COMPLEX TEACHING OF DISCIPLINES – INNOVATIVE RESTAURANT TECHNOLOGIES, COMMODITY SCIENCE AND PURCHASING MANAGEMENT Бухало Світлана, Наталія Якименко-Терещенко;	15 (1) 0.08 %

з домашньої бази даних (0.29 %)

порядковий номер	заголовок	кількість ідентичних слів (фрагментів)
4	Дослідження вмісту рухомих форм Феруму, Цинку та Плюмбуму в ґрунті.doc.docx 6/8/2020 National University "Chernihiv Collegium" (National University "Chernihiv Collegium")	22 (2) 0.11 %
5	Циклоаліл-α-амінокетони в синтезі похідних 5-заміщених-1,3-оксазолів.doc 12/11/2020 National University "Chernihiv Collegium" (National University "Chernihiv Collegium")	20 (1) 0.10 %
6	Вплив протонування вторинних N-тетарилметил-N-ариламінів на їх протикорозійну дію в кислих середовищах.docx 6/3/2020 National University "Chernihiv Collegium" (National University "Chernihiv Collegium")	16 (2) 0.08 %

порядковий номер	заголовок	кількість ідентичних слів (фрагментів)
7	2024_M_461_181-HK-13m_Polishchuk_D_P 12/6/2024 State Biotechnological University (Кафедра технології хлібопродуктів і кондитерських виробів)	47 (3) 0.24 %
8	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБА ПШЕНИЧНОГО, ЗБАГАЧЕНОГО НАСІННЯМ ГАРБУЗОВИХ КУЛЬТУР 9/1/2021 National University Chernihiv Politechnika (NUCP) 2 (Дипломні роботи)	33 (2) 0.17 %
9	181_Швець_Андрій_Вікторович_ТРАП_2024 12/5/2024 National University of Food Technologies (Кафедра технології ресторанної і виробничої продукції)	20 (1) 0.10 %
10	«Дослідження впливу суміші безглютенового борошна (рисового, гречаного та кукурудзяного) на технологію виробництва та якісні показники пшеничного хліба» 12/17/2019 National University Chernihiv Politechnika (NUCP) 2 (Дипломні роботи)	15 (1) 0.08 %
11	CNUT/Савченко_О_М_Вплив_цикорію_кави_лимонного_соку_на_ферментативну_активність_дріжджів_та_якість_p.pdf 8/28/2017 National University Chernihiv Politechnika (NUCP) course papers (Deanery)	13 (1) 0.07 %
12	Розробка технології виробництва житнього-пшеничного хліба з використанням пряно-ароматичної сировини в умовах ФОП Козак Л. В. 12/2/2024 Vinnytskiy National Agricultural University (Vinnytskiy National Agricultural University)	12 (1) 0.06 %
13	03-06-177M ЛР Біотехнології Харкові.docx 2/25/2025 National University of Water and Environmental Engineering (National University of Water and Environmental Engineering)	11 (1) 0.06 %
14	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ З ДОДАВАННЯМ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ В ПЕКАРНІ ТОВ «СІЛЬПО-ФУД». М. КИЇВ 12/18/2023 National University Chernihiv Politechnika (NUCP) 2 (Інформаційний центр запобігання та виявлення інфарктів)	10 (1) 0.05 %
з Інтернету (0.32 %)		
порядковий номер	джерело url	кількість ідентичних слів (фрагментів)
15	https://dukanfood.com.ua/ua/p1239057646-protein-koneplyanyj-vanilnyj.html	64 (4) 0.32 %

Список прийнятих фрагментів (немає прийнятих фрагментів)

порядковий номер	зміст	кількість однакових слів (фрагментів)
------------------	-------	---------------------------------------