

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет харчових технологій та управління якістю продукції АПК

УДК 613.2-037:612.392.5:664.68

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету харчових технологій
та управління якістю продукції АПК

_____ Лариса БАЛЬ-ПРИЛИПКО

ГОЛЕМБОВСЬКА

«___» _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

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

_____ Наталія

«___» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Обґрунтування доцільності використання водорозчинних
харчових волокон для зниження калорійності борошняних виробів»

Спеціальність 181 «Харчові технології»

Освітня програма «Нутріціологія»

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент

_____ Людмила ТИЩЕНКО

Керівник магістерської роботи

д.т.н., професор

_____ Оксана НАУМЕНКО

Виконала

_____ Вероніка ПАНЧЕНКО

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет харчових технологій та управління якістю продукції АПК

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. завідувач кафедри технології
м'ясних, рибних та морепродуктів,
кандидат технічних наук

Голембовська Н.В.

« _____ » _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТЦІ
Панченко Вероніці**

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

Освітня програма: «Нутриціологія»

Орієнтація освітньої програма – Освітньо-наукова програма

Тема магістерської роботи: «Обґрунтування доцільності використання водорозчинних харчових волокон для зниження калорійності борошняних виробів»

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

Термін подання завершеної роботи на кафедру «10» червня 2025 р.

Вихідні дані до магістерської роботи:

водорозчинні харчові волокна, борошняні вироби, функціональні інгредієнти, функціональні продукти, споживчі тренди.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

Вплив харчових волокон на гормональну регуляцію апетиту 18

Модифікація енергетичного обміну через мікробіоту 19

Зменшення засвоєння енергії з інших нутрієнтів 21

Дата видачі завдання «14» квітня 2024 р.

Керівник магістерської роботи _____

Оксана НАУМЕНКО

Завдання прийняла до виконання _____

Вероніка ПАНЧЕНКО

РЕФЕРАТ

Повний обсяг магістерської роботи становить 90 сторінок, робота містить 19 таблиць, 16 рисунків, складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (100 найменувань).

Метою магістерської роботи - Дослідити вплив водорозчинних харчових волокон на калорійність, органолептичні та технологічні властивості борошняних виробів з метою обґрунтування доцільності їх використання у рецептурах для створення продуктів зниженої енергетичної цінності.

Предмет дослідження – вплив водорозчинних харчових волокон на калорійність, органолептичні та технологічні властивості борошняних виробів.

Об’єкт досліджень – борошняні вироби як елемент раціону харчування людини.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми наукового дослідження, визначено перспективні напрями досліджень.

У **першому розділі** розглянуто визначення, хімічну природу та класифікацію харчових волокон. Проаналізовано історичні аспекти їх використання, сучасні напрямки застосування у харчових продуктах, а також енергетичну та регуляторну цінність. Зібрані теоретичні дані формують основу для подальших досліджень властивостей водорозчинних харчових волокон.

У **другому розділі** наведено дані про об’єкт та предмет дослідження, зазначено методи досліджень.

У **третьому розділі** проаналізовано механізм зниження енергетичної цінності борошняних виробів шляхом використання водорозчинних харчових волокон. Розглянуто їхній вплив на органолептичні та технологічні властивості тіста і готових виробів. Оцінено ринкові перспективи та дієтологічну доцільність впровадження таких продуктів у сучасному харчуванні. Представлено розроблений рецепт печива з частковим заміщенням борошна та масла, а також результати сенсорного аналізу щодо сприйняття споживачами даного продукту.

Ключові слова: водорозчинні харчові волокна, борошняні вироби, функціональні інгредієнти, функціональні продукти, споживчі тренди.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	7
1.1 Харчові волокна: визначення, хімічна природа та класифікація.....	7
1.1.1. Розчинність у воді як основний технологічний критерій	7
1.1.2. Хімічна структура: полісахариди та нецукрові компоненти	8
1.1.3. Походження: нативні, ізольовані та синтетичні волокна	9
1.1.4. Технологічне значення і функціональні властивості.....	9
1.2 Історія використання харчових волокон	10
1.3 Сучасні використання харчових волокон у продуктах харчування	12
1.4 Енергетична та регуляторна цінність харчових волокон	17
1. Формування відчуття ситості.....	18
2. Вплив харчових волокон на гормональну регуляцію апетиту	19
3. Модифікація енергетичного обміну через мікробіоту	20
4. Зменшення засвоєння енергії з інших нутрієнтів.....	21
5. Пряма енергетична участь коротколанцюгових жирних кислот	22
6. Харчові волокна та метаболічна ефективність	23
7. Вплив на інсулінову чутливість та толерантність до глюкози	24
8. Харчові волокна та індекс насичення	25
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
2.1. Вибір напрямку досліджень.....	28
2.2. Характеристика сировини, використаної у роботі	29
2.3. Методи досліджень	30
2.3.1 Технологія виготовлення дослідного зразка борошняного виробу....	30
2.3.2 Методика сенсорної оцінки борошняного виробу	31
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	33
3.1 Механізм впливу водорозчинних харчових волокон на зниження калорійності борошняних виробів	35
3.1.1 Заміщення частини борошна.....	35
3.1.2 Імітація жиру у рецептурах борошняних виробів за допомогою водорозчинних харчових волокон	37
3.1.3 Вплив водорозчинних харчових волокон на глікемічний індекс та метаболічні процеси	41

3.2 Вплив водорозчинних харчових волокон на органолептичні властивості борошняних виробів	43
3.2.1 Вплив водорозчинних харчових волокон на смакові властивості борошняних виробів.....	43
3.2.2 Вплив водорозчинних харчових волокон на ароматичні властивості борошняних виробів.....	47
3.3 Вплив харчових волокон на реологічні властивості тіста	50
3.3.1 Консистенція та гідратаційна поведінка	50
3.3.2. Водозв'язувальна здатність і її роль	51
3.3.3 В'язкопружна поведінка тіста	51
3.3.4 Процеси заморожування тіста	54
3.4 Ринкові перспективи та дієтологічна доцільність борошняних виробів з водорозчинними харчовими волокнами в контексті сучасних споживчих тенденцій	56
3.6. Практичне дослідження рецептурного заміщення традиційних енергомістких інгредієнтів водорозчинними харчовими волокнами	64
ВИСНОВКИ	82
ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА	83

ВСТУП

Сучасна харчова культура перебуває в стані трансформації, спричиненої як науково-технічним прогресом, так і змінами у світогляді споживача. Зростає усвідомлення того, що їжа — це не лише джерело енергії, а й потужний інструмент впливу на здоров'я, самопочуття та якість життя людини. У відповідь на виклики часу, пов'язані з епідемією ожиріння, цукрового діабету, серцево-судинних захворювань, дедалі більшої популярності набуває концепція раціонального та функціонального харчування.

Одним із ключових запитів сучасного споживача є зниження калорійності раціону без шкоди для смаку та задоволення від їжі. У цьому контексті борошняні вироби — звичні та улюблені складники щоденного меню — вимагають переосмислення. Використання альтернативних інгредієнтів, здатних зменшити енергетичну щільність продуктів і водночас зберегти їхню привабливість, стає нагальною потребою. Одним із таких інгредієнтів є водорозчинні харчові волокна.

Ці речовини, які донедавна розглядалися переважно в контексті травлення, сьогодні дедалі частіше стають об'єктом інтересу як з боку технологів, так і з боку дієтологів. Їхні унікальні властивості — здатність утримувати воду, впливати на текстуру, імітувати жирність, регулювати глікемічну відповідь — відкривають нові горизонти у створенні продуктів харчування нового покоління. Харчові волокна дозволяють досягати балансу між користю й смаком, між технологічною доцільністю і дієтологічною ефективністю.

Упровадження таких підходів у виробництво борошняних виробів є не лише технічним викликом, а й важливим кроком у напрямку гармонізації традиційного харчування з сучасними уявленнями про здоров'я. Розуміння можливостей, які відкривають водорозчинні харчові волокна, дає змогу по-новому подивитися на знайомі продукти, зберігши їхню гастрономічну привабливість і надавши їм нового, функціонального змісту.

У сучасному світі харчова промисловість несе відповідальність не лише за забезпечення потреб населення у калоріях, а й за формування культури споживання, яка сприяє довголіттю та профілактиці хвороб цивілізації. Тому роль інноваційних підходів у розробці складу продуктів постійно зростає. Особливу увагу привертають саме ті рішення, які дозволяють зменшити вміст цукру, жиру, калорій, не порушуючи органолептичної гармонії виробу. В цьому контексті харчові волокна — зокрема водорозчинні — постають як універсальний компонент, що поєднує харчову функціональність із технологічною гнучкістю.

Водночас застосування водорозчинних харчових волокон у рецептурах борошняних виробів супроводжується низкою технологічних і споживчих викликів. Зокрема, постає завдання збереження бажаної текстурної структури тіста та готового виробу за умов зниження вмісту жиру, адаптації рецептур з урахуванням функціональних властивостей волокон, а також оцінки сприйняття таких продуктів цільовою аудиторією. Ці питання потребують комплексного наукового підходу та емпіричної перевірки, що відкриває перспективи для досліджень, спрямованих на гармонізацію технологічних інновацій із органолептичними вимогами та ринковими очікуваннями. Таким чином, межа між традиційними уявленнями про рецептуру і сучасними дієтологічними вимогами стає полем активного науково-практичного пошуку.

Таким чином, вивчення доцільності використання водорозчинних харчових волокон у рецептурах борошняних виробів є не лише актуальним, але й перспективним напрямом досліджень. Його результати можуть стати внеском у формування нової парадигми харчування — корисного, смачного й відповідального.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Харчові волокна: визначення, хімічна природа та класифікація

Харчові волокна — це загальний термін для ряду харчових речовин, які мають одну спільну рису: вони не перетравлюються ферментами тонкого кишечника людини. Незважаючи на це, більшість з них може частково або повністю ферментуватися мікрофлорою товстого кишечника. Ці речовини є структурними елементами клітинних стінок рослин або ж створені штучно для технологічного чи функціонального використання в харчовій промисловості.

Згідно з офіційним визначенням Codex Alimentarius (FAO/WHO, 2009), до харчових волокон належать їстівні вуглеводні полімери з трьома або більше мономерними одиницями, які не гідролізуються ендогенними ферментами людського травного тракту. Це включає як природні волокна, так і ті, що були екстраговані, модифіковані або синтезовані, за умови, що їхній вплив у харчовому середовищі може бути визначений і обґрунтований.[1] [2]

1.1.1. Розчинність у воді як основний технологічний критерій

Ключовим параметром у класифікації харчових волокон є їхня розчинність у воді, оскільки ця характеристика безпосередньо впливає на поведінку волокон у харчових системах.

Розчинні волокна мають здатність зв'язувати воду та утворювати в'язкі або гелеподібні розчини. До цієї групи належать пектини, гуарова камедь, бета-глюкани, інулін, а також деякі види модифікованих волокон. Вони відіграють важливу роль у створенні текстури продуктів, стабілізації емульсій і регуляції в'язкості харчових систем.[3]

Нерозчинні волокна, навпаки, не розчиняються у воді, не утворюють гелів і зберігають свою тверду структуру навіть у вологому середовищі. Прикладами є целюлоза, частина геміцелюлоз, лігнін. У харчових системах

вони забезпечують структурну цілісність і впливають на щільність та механічні властивості готових продуктів.[4]

Узагальнена характеристика наведена в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 –узагальнена класифікації харчових волокон

Клас харчових волокон	Основні характеристики	Приклади та джерела	Основні функції та застосування
Водорозчинні волокна	Розчиняються у воді, утворюють в'язкі гелі	Інулін (цикорій, топінамбур), β -глюкани (вівся, ячмінь), пектини (фрукти), гуарова камедь, полідекстроза	Пребіотики, зниження холестерину, регуляція глюкози, загущувачі, стабілізатори текстури
Нерозчинні волокна	Не розчиняються або слабо розчиняються у воді	Целюлоза (клітинні стінки рослин), геміцелюлози, лігнін, пшеничні висівки	Підвищення об'єму калових мас, покращення перистальтики, очищення кишечника, покращення структури продуктів

1.1.2. Хімічна структура: полісахариди та нецукрові компоненти

Більшість харчових волокон мають полісахаридну природу. Основними представниками є:

Целюлоза — лінійний полімер з $\beta(1\rightarrow4)$ -зв'язаних D-глюкозних залишків. Має кристалічну структуру та практично не ферментується. Є основним компонентом первинної і вторинної клітинної стінки рослин.

Геміцелюлози— гетерогенні полісахариди, серед яких найбільш відомі ксилани, манани, глюкоманани. Вони мають меншу молекулярну масу, менш

упорядковану структуру, часто містять побічні ланцюги, що робить їх більш доступними до часткової ферментації.

Пектини — складні полісахариди, що складаються переважно з D-галактуронової кислоти, часто метилестерифікованої. Ці речовини добре розчиняються у воді та широко використовуються як гелеутворювачі в технологіях джемів, желе та функціональних напоїв.

Лігнін — єдиний представник харчових волокон, який не є вуглеводом. Це складний ароматичний полімер, утворений із фенілпропаноїдних мономерів. Лігнін часто асоціюється з целюлозно-геміцелюлозним комплексом у стінках рослинних клітин.

Окрему групу становлять фруктани (інулін, фруктоолігосахариди), а також синтетичні волокна, зокрема полідекстроза, карбоксиметилцелюлоза, які отримуються шляхом контролюваної модифікації природних полімерів.[5],[6],[4]

1.1.3. Походження: нативні, ізольовані та синтетичні волокна

Харчові волокна також класифікуються за джерелом походження:

Нативні (природні) волокна присутні в необроблених харчових продуктах, особливо в злаках, овочах, фруктах, бобових культурах. Їхній склад залежить від виду рослини, стадії зрілості та способу обробки.

Ізольовані волокна виділяються з природних джерел шляхом механічної, термічної або ферментативної обробки. Вони можуть бути додані до харчових продуктів як функціональні інгредієнти.

Синтетичні або модифіковані волокна створюються хімічним або біотехнологічним шляхом. Їхні властивості можуть бути спрямовано змінені для досягнення певних техно-функціональних ефектів (наприклад, контроль в'язкості, стабілізація текстури).[4]

1.1.4. Технологічне значення і функціональні властивості

Ізольовані харчові волокна активно використовуються у харчовій промисловості не лише з нутритивною метою, а й як технологічні інгредієнти.

Основні параметри, що визначають функціональність харчових волокон у рецептурах харчових продуктів розглянуто в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – функціональні властивості харчових волокон та технологічний інтерес до цих властивостей

Параметри функціональності	Технологічний інтерес
водоутримуюча здатність	ключовий показник для випічки, фаршів, м'ясних виробів;
утворення гелів	використовується у кондитерській та молочній промисловості;
в'язкість розчинів	важлива для стабілізації емульсій та уповільнення масопереносу;
набухання	впливає на структуру тіста та об'єм готового виробу;
ферментованість	враховується при розробці продуктів з контрольованим вмістом газоутворення.

1.2 Історія використання харчових волокон

Історія дослідження й використання харчових волокон бере початок задовго до формалізації самого терміна. Протягом століть, ще з античних часів, люди інтуїтивно споживали багаті на клітковину продукти — злаки, бобові, коренеплоди — однак справжнє наукове осмислення цієї речовини розпочалося лише у XVIII–XIX століттях, у контексті ботанічних і хімічних досліджень будови клітинної стінки рослин.

Термін "харчові волокна" (dietary fiber) у сучасному розумінні вперше було запропоновано у 1953 році британськими вченими Hipsley та Burkitt, які під ним мали на увазі залишкові компоненти рослинних клітин, що не засвоюються в тонкому кишечнику [6] Цей підхід згодом еволюціонував у більш чітке біохімічне визначення, яке стало фундаментом сучасної класифікації волокон за хімічною структурою та фізико-хімічними властивостями.

У перші десятиліття наукового вивчення харчові волокна розглядалися переважно як складова рослинної клітини, що залишалася недоокисненою у процесі травлення. Першими компонентами, які почали аналізувати з цієї точки зору, були целюлоза та лігнін, оскільки їхня стійкість до гідролізу вже тоді була відомою. У подальшому до цього переліку додали геміцелюлози, пектини та резистентні олігосахариди.

Із розвитком аналітичної хімії у 1960–1980-х роках було запропоновано різноманітні лабораторні методи для визначення вмісту харчових волокон у продуктах: гравіметричні, ферментативні, ензимно-хімічні. З'явилися перші стандартизовані протоколи, зокрема методи АОАС, які лягли в основу нормативних документів з контролю якості.

Водночас почалося активне використання ізольованих і модифікованих харчових волокон у технологіях виробництва харчових продуктів. Наприкінці ХХ століття промисловість почала цілеспрямовано додавати волокна до продуктів як стабілізатори, текстуранти, загущувачі. Одним з перших таких інгредієнтів стала мікрокристалічна целюлоза (МЦЦ) — очищена, частково гідролізована форма целюлози, яка набуває гелеутворюючих властивостей. Її активно застосовували у кондитерській, м'ясній та молочній промисловості.

З початку 2000-х років міжнародні організації, зокрема Codex Alimentarius, почали розробляти універсальне визначення харчових волокон, яке включає як природні, так і синтетично модифіковані форми, за умови їх технологічної функціональності або ферментативної стабільності. Це дозволило інтегрувати нові джерела волокон — зокрема волокна з побічних продуктів переробки овочів, фруктів, злаків — у сучасні рецептури продуктів функціонального призначення. [2] [7]

Таким чином, еволюція концепції харчових волокон пройшла шлях від суто морфологічного поняття до строго науково класифікованого інгредієнта з технологічною цінністю. Сьогодні харчові волокна розглядаються не лише

як залишки рослинних клітин, а як функціональні речовини зі складною структурною організацією та значним потенціалом у харчових технологіях.

1.3 Сучасні використання харчових волокон у продуктах харчування

У сучасному харчовому виробництві харчові волокна активно використовуються не лише як джерело баластних речовин, але й як технологічні інгредієнти з чітко визначеною функціональністю. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям (гідратаційна здатність, гелеутворення, зв'язування жирів, стабілізація емульсій тощо), вони дозволяють модифікувати рецептури, зберігаючи або навіть покращуючи якість продукції при зниженні собівартості чи вмісту традиційних компонентів (жиру, цукру, борошна, емульгаторів).

У хлібопекарській промисловості харчові волокна використовують як функціональні інгредієнти, що впливають на водоутримання, об'єм і текстуру тіста. Додавання пшеничних, вівсяних або мікрокристалічних волокон покращує реологічні властивості й стабілізує структуру під час бродіння та випікання. Вони зв'язують вологу, що уповільнює черствіння, подовжує термін зберігання та покращує свіжість виробів упродовж усього логістичного циклу [4]. Розчинні волокна (β -глюкани, інουλін) сприяють утворенню м'якого, еластичного м'якуша з рівномірною пористістю, тоді як нерозчинні (висівки, целюлоза) формують щільнішу структуру з підвищеною жувальністю. У безглютеновому хлібопеченні волокна, зокрема псиліум, компенсують відсутність клейковини, формуючи в'язку гелеву матрицю, яка імітує її функції [8]. Оптимальний вміст волокон у рецептурі становить 1–5% від маси борошна; надмірна кількість знижує газоутримувальну здатність тіста, спричиняючи утворення щільного хліба з низьким об'ємом [9].

В таблиці 1.3.1 розглянуто основні напрямки використання харчових волокон відомі на сьогоднішній день

Таблиця 1.3. «Сучасні тенденції використання харчових волокон в харчові промисловості»

Галузь застосування	Типові волокна	Функціональна роль	Приклади продуктів
Хлібопекарство	Пшеничні, вівсяні, ячмінні, МЦЦ	Утримання вологи, збільшення об'єму, стабілізація пористості	Хліб, багети, лаваші, печиво
М'ясні вироби	Бамбукові, картопляні, бурякові	Зв'язування вологи й жиру, стабілізація текстури	Варені ковбаси, фарші, паштети
Молочна промисловість	Інулін, пектини, гуарова камедь	Загущення, стабілізація гелевої структури, зменшення синерезису	Йогурти, десерти, плавлені сири
Напої	Резистентний мальтодекстрин, інулін	Підвищення в'язкості, прозорість, стабільність при зберіганні	Функціональні води, спортивні напої
Снеки, батончики	Целюлоза, вівсяні волокна, пектини	Структурутворення, зменшення ламкості, утримання вологи	Злакові батончики, сухі сніданки
Соуси, майонези	Камедь, цитрусові волокна, пектини	Емульгування, стабілізація водно-жирової фази, загущення	Кетчупи, майонези, соуси, маринади
Кондитерські вироби	МЦЦ, інулін, полідекстроза	Утримання вологи, заміна цукру, покращення текстури	Креми, желе, пудинги, вафлі
Безглютенові продукти	Псиліум, яблучні волокна	В'язкість і структура, заміна глютенного зв'язку	Безглютеновий хліб, піца, мафіни

У м'ясній промисловості волокна застосовуються як функціональні добавки для покращення водоутримання, стабільності емульсії та текстури фаршу. Їх здатність зв'язувати воду й жир підвищує вихід готової продукції та зменшує втрати при термообробці, що особливо актуально для варених і смажених виробів [10]. Нерозчинні волокна (пшеничні, соєві, целюлозні) ефективно стабілізують структуру ковбас, паштетів, м'ясних хлібів і напівфабрикатів, запобігаючи розшаруванню й зменшуючи щільність м'ясної матриці. Водночас розчинні волокна (інулін, гуарова камедь) часто застосовують у складі низькожирових продуктів як жирові замітники, які надають приємної текстури без значного впливу на калорійність [11]. Оптимальне дозування становить 2–6% від маси фаршу, залежно від бажаного ефекту.

У молочному виробництві волокна слугують структуроутворювачами, стабілізаторами текстури та функціональними добавками, що підвищують споживчу цінність. Їх додають до йогуртів, сирків, десертів і молочних напоїв для поліпшення консистенції, підвищення стабільності, зменшення сировиділення та зниження вмісту жиру або цукру без втрати органолептичних характеристик [12]. Розчинні волокна (інулін, олігосахариди, β -глюкани) формують м'який гель, покращують кремоподібну текстуру, забезпечують повноту смаку. Нерозчинні (целюлоза, пшеничні волокна) підвищують термостійкість десертів, покращують їх механічну стабільність при зберіганні. Типове дозування варіюється в межах 1–5% залежно від функціональної мети та типу продукту.

У напоях волокна застосовуються як функціональні компоненти, стабілізатори текстури або замітники цукру й жиру. Найпоширенішими є інулін, β -глюкани, пектини, резистентний декстрин і олігофруктоза [13]. У фруктових соках, кисломолочних і рослинних напоях вони діють як пребіотики, стабілізують консистенцію, знижують ризик розшарування й утворення осаду. Інулін та пектини забезпечують м'яку текстуру й солодкуватість, дозволяючи зменшити кількість доданого цукру без шкоди

для смакових властивостей [14]. У спортивних, енергетичних та функціональних напоях волокна регулюють в'язкість, збагачують раціон і сприяють здоров'ю шлунково-кишкового тракту. Рекомендоване дозування: 1–3 г/100 мл.

У снеках і батончиках волокна застосовують для збагачення клітковиною, покращення текстури, регуляції вологості та зниження калорійності. Поширеними є інулін, полідекстроза, β -глюкани, а також вівсяні, пшеничні й соєві волокна [15]. У зернових і протеїнових батончиках волокна утримують вологу, зменшують крихкість, покращують пластичність маси та сприяють однорідній структурі. Це дозволяє підвищити споживчі якості продукту та подовжити термін зберігання без втрати органолептики [16]. У хрустких снеках, зокрема екструдованих, волокна впливають на об'єм, щільність, текстуру та створюють відчуття ситості при низькій енергетичній цінності [17]. Застосування волокон також дозволяє зменшити кількість традиційних наповнювачів, як-от крохмаль або жири. Типове дозування становить 5–15% залежно від типу продукту та цільових функцій.

У соусах, майонезах та заправках волокна виконують текстуроутворювальні, стабілізуючі та жировмісні функції, часто замінюючи частину жиру або крохмалю в низькокалорійних продуктах. Розчинні волокна, як-от інулін, пектини, гуарова камедь і полідекстроза, формують гелеві матриці, імітуючи кремоподібну текстуру жиру, надають стабільності емульсіям та поліпшують сенсорні властивості [18]. Вони також зменшують явище синерезису (виділення вологи) під час зберігання та покращують однорідність, особливо в холодних соусах і салатних заправках. Волокна можуть виступати носіями ароматизаторів, сприяючи рівномірному розподілу смаку. Дозування зазвичай коливається в межах 1–5%, залежно від рецептури й бажаної консистенції.

У кондитерських виробках волокна використовують для поліпшення текстури, зниження калорійності та як заміники цукру або жиру. Найчастіше застосовують інулін, олігофруктозу, пектини, целюлозу, β -

глюкани [19]. У печиві та бісквітах волокна замінюють частину борошна або жиру, забезпечуючи вологу, приємну текстуру, зменшення крихкості та підвищення харчової цінності. Вони сприяють зниженню глікемічного індексу та збільшенню вмісту клітковини без істотної зміни смаку [20]. У шоколаді, кремах і начинках волокна стабілізують гелеві структури, знижують водоактивність, зменшуючи ризик мікробіологічної псування. Це дозволяє виготовляти "здорові" версії класичних солодоців. Дозування зазвичай становить 2–10%, залежно від типу виробу й цільової функції волокон.

У безглютеновому виробництві волокна критично важливі як замітники глютену — білка, що забезпечує еластичність і структуру тіста. Найпоширенішими є псиліум, гуарова камедь, інулін, β -глюкани, пектини, модифікована целюлоза [21]. Вони утворюють в'язкі розчини або гелеві сітки, які імітують клейковинну структуру, стабілізуючи тісто під час бродіння та термічної обробки. Це дозволяє досягти задовільного об'єму, пористості та текстури готових виробів. Крім технологічної функції, волокна збагачують безглютенові вироби клітковиною, що є важливим для балансу харчового раціону споживачів із целиакією. Вони також сприяють зниженню глікемічного індексу й пролонгують відчуття ситості [22]. Типове дозування становить 2–10%, залежно від типу виробу та використаних волокон.

На основі розглянутої літератури в таблиці 1.3.2 наведено типові дозування для використання харчових волокон відповідно від їх природи та галуз використання кінцевого продукту

Таблиці 1.4

**«Рекомендовані дозування харчових волокон відповідно до
виробничої галузі»**

Галузь виробництва	Типи волокон	Рекомендоване дозування (%) або г/100 мл
Хлібопекарська промисловість	Пшеничні, вівсяні, мікрокристалічні, розчинні (β -глюкани, інулін), нерозчинні (висівки, целюлоза), псиліум	1–5% відмасиборошна
М'ясна промисловість	Нерозчинні (пшеничні, соєві, целюлозні), розчинні (інулін, гуарова камедь)	2–6% відмаси фаршу
Напої	Інулін, β -глюкани, пектини, резистентний декстрин, олігофруктоза	1–3 г/100 мл
Снеки і батончики	Інулін, полідекстроза, β -глюкани, вівсяні, пшеничні, соєві волокна	5–15%
Соуси, майонези, заправки	Розчинні (інулін, пектини, гуарова камедь, полідекстроза)	1–5%
Кондитерські вироби	Інулін, олігофруктоза, пектини, целюлоза, β -глюкани	2–10%
Безглютенове виробництво	Псиліум, гуарова камедь, інулін, β -глюкани, пектини, модифікованацелюлоза	2–10%
Молочне виробництво	Розчинні (інулін, олігосахариди, β -глюкани), нерозчинні (целюлоза, пшеничні волокна)	1–5%

1.4 Енергетична та регуляторна цінність харчових волокон

Харчові волокна — це структурні елементи клітинної стінки рослин, які не перетравлюються ферментами шлунково-кишкового тракту людини.

Їхня безпосередня енергетична цінність становить близько 8 кДж (2 ккал) на грам — істотно менше порівняно з вуглеводами (17 кДж/г), білками (17 кДж/г) чи жирами (37 кДж/г). Водночас харчові волокна чинять значний вплив на енергетичний баланс і метаболізм, опосередковано беручи участь у регуляції апетиту, ваги тіла та гомеостазу поживних речовин. [10]

1.4.1. Формування відчуття ситості

Розчинні харчові волокна, такі як пектини, β -глюкани та гуарова камедь, володіють унікальною здатністю утворювати гелеподібну структуру при взаємодії з водою в шлунково-кишковому тракті. Ця гелева маса значно збільшує об'єм шлункового вмісту, що фізично розтягує стінки шлунка і активує механорецептори, які сигналізують у головний мозок про достатню кількість їжі. Відповідь мозку на цей сигнал – формування відчуття ситості, що сприяє зниженню подальшого споживання їжі [23].

Крім того, гелеутворювальні волокна уповільнюють процес евакуації їжі зі шлунка в тонкий кишечник, що призводить до більш тривалого відчуття насичення. Цей уповільнений транзит також сприяє поступовому вивільненню поживних речовин і стабілізації рівня глюкози в крові, що допомагає уникнути раптових піків і спадів енергії, часто пов'язаних з відчуттям голоду [24].

Одночасно, розчинні волокна впливають на секрецію гормонів, які регулюють апетит. Зокрема, споживання волокон стимулює виділення гормонів насичення, таких як пептид YY (PYY) та глюкагоноподібний пептид-1 (GLP-1), які пригнічують апетит, і знижує рівень греліну – гормону, що відповідає за стимуляцію голоду [25]. Ці гормональні зміни є важливим механізмом, що підтримує довготривале відчуття ситості після прийому їжі.

Крім прямого впливу на ситість, харчові волокна також сприяють покращенню метаболічного здоров'я. За рахунок уповільнення всмоктування вуглеводів і жирів вони допомагають регулювати рівень цукру в крові та інсулінову чутливість, що є критично важливим у профілактиці та лікуванні ожиріння, цукрового діабету 2 типу і метаболічного синдрому [26].

Вживання продуктів, багатих на розчинні волокна, пов'язане із зниженням загальної калорійності харчування, оскільки відчуття ситості змушує людину їсти менше і рідше. Це робить їх незамінними в дієтичних підходах до контролю ваги, допомагаючи зменшити надмірне споживання їжі та підтримувати стабільну масу тіла [23].

Варто зазначити, що вплив харчових волокон на ситість може залежати від їх кількості, типу і фізичної структури. Наприклад, більш в'язкі волокна, такі як гуарова камедь, можуть утворювати більш стабільні гелі і мати більш виражений ефект, тоді як менш в'язкі волокна можуть мати менш помітний вплив [24]. Важливим є також комбінування різних типів волокон у раціоні для максимального ефекту.

1.4.2. Вплив харчових волокон на гормональну регуляцію апетиту

Ферментовані харчові волокна, зокрема інулін, β -глюкани, резистентний крохмаль та олігофруктоза, відіграють важливу роль у складній системі регуляції апетиту через вплив на кишкову мікробіоту. Після проходження тонкого кишечника вони досягають товстої кишки, де стають субстратом для ферментації мікроорганізмами. У результаті цього процесу утворюються коротколанцюгові жирні кислоти (КЖК) — оцтова (ацетат), пропіонова і масляна (бутират) кислоти.

Ці метаболіти мають широкий спектр дії не лише як джерело енергії для ентероцитів, а й як сигнальні молекули. КЖК зв'язуються з рецепторами GPR41 (FFAR3) та GPR43 (FFAR2), розташованими на ентероендокринних клітинах кишечника. Активація цих рецепторів стимулює секрецію гормонів ситості — глюкагоноподібного пептиду-1 (GLP-1) та пептиду YY (PYY), які надходять у системний кровотік [27].

GLP-1 уповільнює випорожнення шлунка, пригнічує секрецію глюкагону та стимулює секрецію інсуліну у відповідь на глюкозу, що сприяє покращенню глікемічного контролю. Водночас PYY діє як анорексигенний гормон — він знижує апетит через вплив на гіпоталамус, центральний центр контролю харчової поведінки [28].

Окрім прямої дії на гормони ситості, КЖК здатні впливати на рівень греліну — основного гормону голоду, який секретується шлунком. Підвищення продукції пропіонової кислоти, зокрема, асоціюється зі зниженням концентрації греліну, що також сприяє зменшенню харчового потягу [29].

Важливо також відзначити, що регулярне споживання ферментованих волокон змінює склад кишкової мікробіоти, збільшуючи чисельність пробіотичних штамів, таких як *Bifidobacterium* і *Lactobacillus*. Ці зміни мають тривалий вплив на метаболічне здоров'я і можуть додатково підтримувати гормональну регуляцію апетиту.

Усі ці ефекти мають вагоме практичне значення в контексті контролю маси тіла, запобігання переїданню та лікування таких захворювань, як ожиріння, метаболічний синдром і цукровий діабет 2 типу. Таким чином, ферментовані харчові волокна не тільки покращують роботу шлунково-кишкового тракту, але й слугують потужними модуляторами апетиту через ендокринні та мікробіомні механізми [31].

1.4.3. Модифікація енергетичного обміну через мікробіоту

Харчові волокна (ХВ) відіграють ключову роль у формуванні та підтриманні здорового складу кишкової мікробіоти, що, у свою чергу, активно бере участь у регуляції енергетичного обміну й метаболічного гомеостазу. Мікробіота функціонує як додатковий метаболічний орган, здатний впливати на витрати енергії, зберігання жиру, толерантність до глюкози та імунну відповідь.

Споживання ХВ, особливо ферментованих типів (інулін, β -глюкани, резистентний крохмаль, олігосахариди), збагачує мікробіоту бактеріями, що асоціюються з метаболічним здоров'ям — насамперед *Bifidobacterium* та *Lactobacillus*. Ці бактерії беруть участь у ферментації волокон з утворенням коротколанцюгових жирних кислот (КЖК), які не лише виконують локальні функції в товстій кишці, але й мають системний вплив [32]

КЖК, зокрема бутират, пропіонат та ацетат, беруть участь у регуляції гомеостазу глюкози та ліпідів, активуючи рецептори GPR41 та GPR43. Це призводить до посилення секреції інсуліну, підвищення чутливості до інсуліну, а також до зменшення синтезу ліпідів у печінці [33]. Бутират, зокрема, слугує джерелом енергії для ентероцитів і підтримує бар'єрну функцію епітелію кишки, запобігаючи транслокації бактеріальних токсинів і зменшуючи системне запалення.

При дефіциті харчових волокон та низькому надходженні пребіотиків порушується мікробіальний баланс — зменшується чисельність симбіотичних бактерій і зростає частка про-запальних штамів, таких як Firmicutes або Proteobacteria. Цей стан, відомий як дисбіоз, асоціюється з розвитком ожиріння, хронічного системного запалення, метаболічного синдрому та інсулінорезистентності[34].

Крім того, дисбіоз може призводити до зменшення вироблення КЖК, порушення регуляції апетиту та зниження енергетичних витрат, що посилює тенденцію до накопичення жиру. Натомість регулярне надходження ХВ не лише коригує мікробіоту, а й впливає на епігенетичну регуляцію обміну речовин — зокрема, через HDAC-інгібуючу дію бутирату, що активує експресію генів, пов'язаних з окисленням жирних кислот та контролем запалення [35].

1.4.4. Зменшення засвоєння енергії з інших нутрієнтів

Харчові волокна здатні зменшувати біодоступність енергії, що надходить із раціону, через кілька механізмів. Один із найважливіших — фізичне обмеження доступу травних ферментів до поживних речовин, насамперед жирів і вуглеводів.

В'язкі розчинні волокна, такі як гуарова камедь, псиліум, β -глюкани, пектини, при контакті з водою утворюють гелеподібну субстанцію, яка уповільнює травлення та всмоктування. Цей гель затримує змішування ферментів (амілази, ліпази) з субстратами, уповільнюючи розщеплення крохмалю та жирів. Унаслідок цього зменшується швидкість

постпрандіального (післяїдного) підвищення глюкози та ліпідів у крові, що призводить до зниження глікемічного та ліпемічного навантаження їжі [36], [37].

Крім того, в'язкі волокна підвищують в'язкість шлункового і кишкового вмісту, що уповільнює евакуацію їжі зі шлунка і порушує процеси емульгування жирів та їх подальшої абсорбції. У деяких дослідженнях встановлено, що споживання розчинних волокон може знизити всмоктування ліпідів на 10–20%, залежно від типу волокна та кількості спожитої їжі [38].

Також харчові волокна можуть адсорбувати жовчні кислоти у кишечнику, перешкоджаючи їх повторному всмоктуванню в ентерогепатичному колі. Оскільки жовчні кислоти необхідні для емульгування жирів, їх зменшення у просвіті кишечника призводить до зниження ефективності ліпідної абсорбції. Організм змушений синтезувати нові жовчні кислоти з холестерину, що також сприяє зниженню загального холестерину [39].

Сукупний ефект цих механізмів — зменшення калорійності раціону, навіть при однаковому споживанні їжі за масою. Це особливо важливо в контексті контролю маси тіла, профілактики ожиріння та метаболічного синдрому, а також у клінічному харчуванні.

1.4.5. Пряма енергетична участь коротколанцюгових жирних кислот.

Один із важливих механізмів впливу харчових волокон на енергетичний баланс організму — продукція коротколанцюгових жирних кислот (КЖК) під час їх ферментації в товстому кишечнику. Ферментовані розчинні волокна (зокрема інулін, фруктоолігосахариди, β -глюкани, пектини) є субстратом для анаеробного метаболізму кишкової мікробіоти. У результаті цього процесу утворюються три основні КЖК: оцтова, пропіонова та масляна кислота у співвідношенні приблизно 60:20:20 [40].

Ці КЖК частково абсорбуються епітелієм товстої кишки й беруть участь у метаболічних процесах організму:

Масляна кислота (бутират) — головне джерело енергії для клітин слизової оболонки товстої кишки (колоноцитів), забезпечує близько 60–70% їх потреб у енергії. Крім того, бутират підтримує цілісність епітеліального бар'єру, знижує запалення й відіграє протиракову роль.

Пропіонова кислота транспортується до печінки, де включається в процес глюконеогенезу — синтезу глюкози з не-вуглеводних джерел. Таким чином, вона бере участь у підтримці рівня глюкози в крові.

Оцтова кислота потрапляє у системний кровотік і може використовуватись різними тканинами як джерело енергії або субстрат для ліпогенезу (конверсії в жирні кислоти).

Сукупна енергетична цінність ферментованих розчинних харчових волокон становить приблизно 1,5–2 ккал/г — це менше, ніж у вуглеводів (4 ккал/г), проте більше, ніж у нерозчинних, неферментованих волокон, які практично не дають енергії [41].

Важливо зазначити, що хоча ця енергія незначна в абсолютних цифрах, її роль метаболічно значуща — через вплив на епітелій кишечника, регуляцію глюкози та ліпідів, а також взаємодію з гормональними і імунними системами.

1.4.6. Харчові волокна та метаболічна ефективність

Харчові волокна (ХВ) не лише впливають на відчуття ситості чи роботу кишківника, але й відіграють важливу роль у формуванні метаболічної ефективності — тобто оптимізації співвідношення між кількістю спожитої енергії та реальною її утилізацією організмом.

Одним із механізмів цього впливу є пригнічення або уповільнення процесів травлення. В'язкі розчинні волокна (зокрема гуарова камедь, пектини, β -глюкани) сповільнюють всмоктування глюкози та жирів, що знижує глікемічний індекс спожитої їжі та зменшує постпрандіальну гіперглікемію й гіперінсулінемію[42]. Уповільнене засвоєння нутрієнтів дає організму більше часу на адекватну регуляцію енергетичних потоків, що зменшує ризик метаболічних розладів.

Окрім цього, продукти, багаті на ХВ, підвищують енергетичні витрати, пов'язані з перетравленням їжі — явище, яке називають термогенезом травлення. Для механічного подрібнення, хімічного розщеплення та переміщення волокнистої їжі організм витрачає більше енергії, порівняно з легко засвоюваними раціонами з високим вмістом цукру та жиру [43]. Хоч ефект ДІТ є помірним, він може відігравати роль у довгостроковому енергетичному балансі.

Ще один аспект — регуляція харчової поведінки після споживання продуктів, багатих на волокна. Дослідження показують, що після вживання високоволокнистих сніданків (наприклад, на основі вівсянки, зернових з оболонкою або бобових) люди менше схильні до перекусів та вживання калорійних, жирних або солодких страв упродовж наступних кількох годин [24]. Це частина так званої вторинної енергетичної цінності ХВ, яка не обмежується лише фізичною калорійністю, а проявляється через зменшення споживання їжі протягом доби.

Таким чином, харчові волокна впливають на метаболічну ефективність через кілька взаємопов'язаних механізмів:

- зниження глікемічного навантаження їжі;
- підвищення витрат енергії на її засвоєння;
- зменшення бажання доїдати після їжі;
- покращення довготривалого контролю апетиту.

1.4.7. Вплив на інсулінову чутливість та толерантність до глюкози

Регулярне споживання розчинних харчових волокон тісно пов'язане з покращенням чутливості тканин до інсуліну, що є критично важливим фактором у профілактиці та лікуванні предіабету, інсулінорезистентності та метаболічного синдрому.

Один із головних механізмів цього впливу — уповільнення всмоктування глюкози в тонкому кишечнику. В'язкі волокна (наприклад, β -глюкани, гуарова камедь, пектини) утворюють гель у просвіті кишечника, що

сповільнює дифузію глюкози та її транспортування через слизову оболонку. Це знижує пікове глікемічне навантаження після їжі, тим самим зменшуючи потребу у великій кількості інсуліну [44]

Однак на цьому дія ХВ не закінчується. Ферментовані волокна, досягаючи товстої кишки, стають субстратом для кишкової мікробіоти. У результаті цього процесу утворюються коротколанцюгові жирні кислоти (КЖК) — зокрема, масляна кислота (бутират), пропіонова та оцтова кислоти. Ці метаболіти мають протизапальні властивості та можуть модулювати метаболічні сигнали організму.

Особливу увагу дослідники приділяють впливу масляної кислоти на гормональний профіль: вона стимулює секрецію глюкагоноподібного пептиду-1 (GLP-1) — гормону, який не лише покращує чутливість до інсуліну, але й стимулює функцію β -клітин підшлункової залози і пригнічує секрецію глюкагону. Таким чином, формується багатоконпонентна відповідь, яка покращує глікемічний контроль та енергетичний гомеостаз [45],[46]

Крім того, поліпшення складу кишкової мікробіоти, яке відбувається на фоні споживання ХВ (особливо біфідогенних волокон), супроводжується зниженням рівня низькоградуального запалення у жировій тканині — процесу, що часто є фоном для розвитку інсулінорезистентності.

1.4.8. Харчові волокна та індекс насичення

Індекс насичення (SatietyIndex) — це показник, який демонструє, наскільки певний продукт сприяє зменшенню відчуття голоду після вживання у порівнянні з іншими продуктами аналогічної калорійності. Він враховує відкладене бажання їсти, кількість спожитої їжі в наступний прийом і суб'єктивні відчуття ситості. Саме завдяки цьому параметру вдається оцінити, наскільки певна їжа є ефективною у контролі апетиту та профілактиці переїдання.

Продукти, багаті на харчові волокна, мають зазвичай вищий індекс насичення, ніж продукти, бідні на волокна. Цей ефект зумовлений кількома фізіологічними механізмами:

- Фізичне заповнення шлунка завдяки збільшенню об'єму їжі.
- Гелеутворювальні властивості розчинних волокон, які уповільнюють евакуацію зі шлунка.
- Регуляція глікемії, що зменшує коливання рівня глюкози й інсуліну — чинники, які впливають на апетит.
- Активація гормонів ситості, таких як GLP-1 і PYY, за рахунок ферментації волокон у товстій кишці.

Ці механізми працюють синергічно, забезпечуючи триваліше відчуття ситості після споживання продуктів із високим вмістом ХВ.

Було встановлено, що варена картопля, апельсини та вівсянка — продукти, багаті на клітковину та воду — мали найвищі індекси насичення. Наприклад, варена картопля виявилася вдвічі ситнішою за булочку з білої муки (яка є калорійно подібною, але не містить волокон), а апельсини значно краще пригнічували голод, ніж солодкі снеки. Це демонструє, що не лише кількість калорій, а якість і структура їжі мають вирішальне значення в контролі енергетичного балансу[47]

Висновки до огляду літератури

У результаті аналізу наукової літератури було встановлено, що харчові волокна є складною групою вуглеводної природи, що не перетравлюється ферментами шлунково-кишкового тракту людини, але відіграє ключову роль у підтриманні фізіологічного балансу організму. Залежно від розчинності у воді, харчові волокна поділяються на водорозчинні та нерозчинні, кожна з яких виконує специфічні біологічні та технологічні функції.

Історичний огляд свідчить про те, що хоча роль харчових волокон була недооцінена в минулому, з другої половини ХХ століття їх значення в раціоні харчування стало активно досліджуватись. Сьогодні харчові волокна розглядаються не лише як баластні речовини, а як функціональні інгредієнти з високим потенціалом профілактичного впливу на організм людини.

Сучасна харчова промисловість активно впроваджує харчові волокна у різні категорії продуктів — від напоїв до хлібобулочних і м'ясних виробів — з метою підвищення їхньої харчової цінності, поліпшення текстури, стабільності та функціональних властивостей. Особливе місце займають водорозчинні волокна, здатні імітувати жирність і впливати на реологічні характеристики харчових систем.

Також було встановлено, що харчові волокна практично не постачають енергії організму, однак справляють значний фізіологічний вплив, регулюючи глікемічний індекс, ліпідний обмін та мікробіоту кишківника. Це обумовлює їхню високу регуляторну цінність і доцільність використання у складі продуктів для профілактичного та функціонального харчування.

Таким чином, харчові волокна, зокрема водорозчинні, є перспективним інструментом для створення харчових продуктів зі зниженою енергетичною цінністю, що відповідають сучасним вимогам здорового харчування.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Вибір напрямку досліджень.

Метою роботи є дослідити вплив водорозчинних харчових волокон на калорійність, органолептичні та технологічні властивості борошняних виробів з метою обґрунтування доцільності їх використання у рецептурах для створення продуктів зниженої енергетичної цінності.

Відповідно до мети було визначено такі основні завдання:

- Дослідити механізм впливу водорозчинних харчових волокон на зниження енергетичної цінності борошняних виробів.
- Проаналізувати вплив водорозчинних волокон на органолептичні властивості (смак, текстуру, аромат) готової продукції.
- Оцінити зміни технологічних властивостей тіста за умови внесення водорозчинних волокон.
- Визначити комерційний потенціал збагачених волокнами низькокалорійних борошняних виробів для здоров'я споживача та їхню ринкову привабливість.
- Розробити та проаналізувати рецептуру борошняних виробів із використанням водорозчинних волокон і здійснити порівняльну оцінку

Дослідження проводили згідно з розробленою блок-схемою (рис. 2.1).

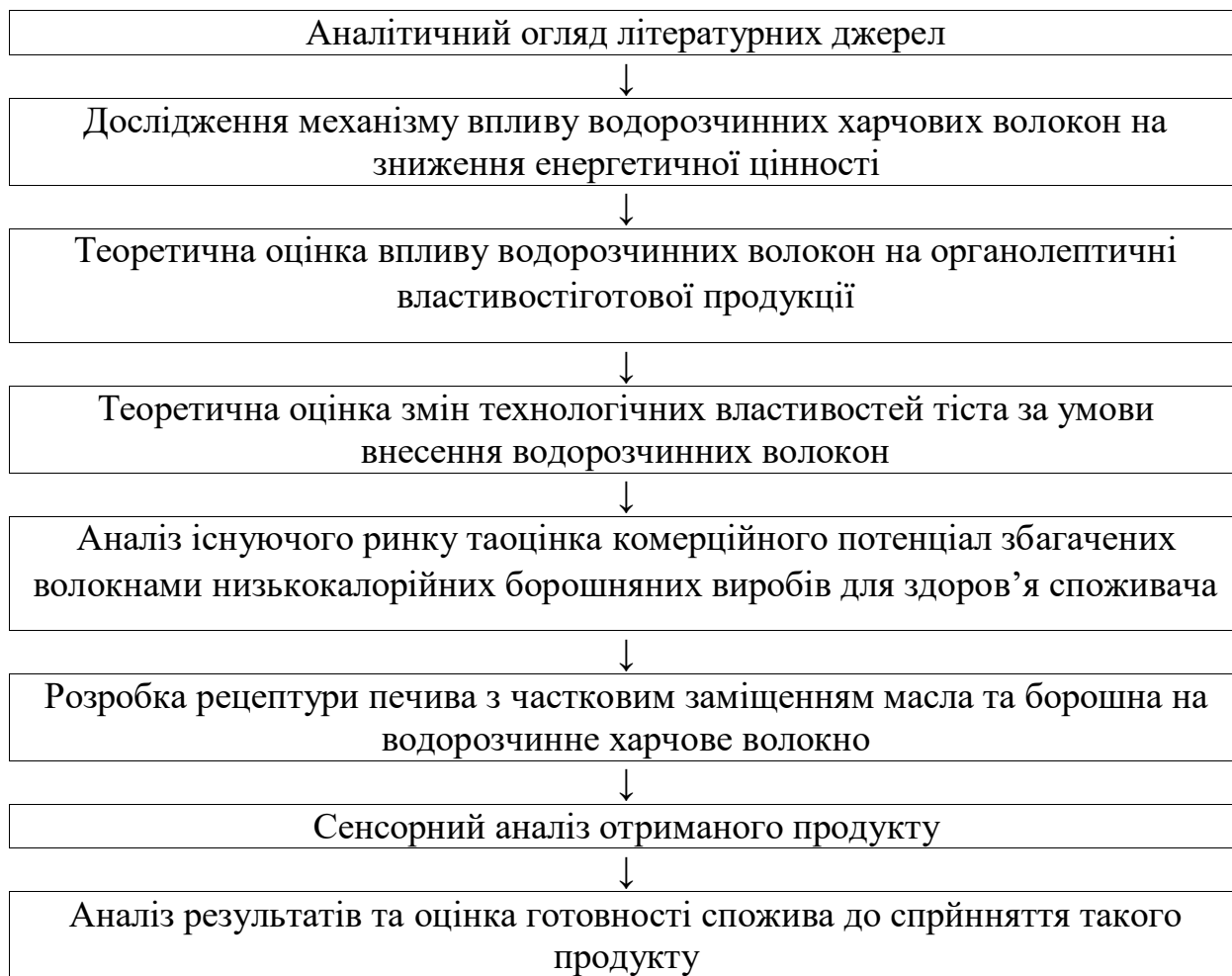


Рис. 2.1 – Блок-схема експериментальних досліджень

2.2. Характеристика сировини, використаної у роботі

Під час проведення досліджень і виробничих випробувань використовували такі види сировини та добавок:

- **Борошнопшеничне** ДСТУ 46.004:2003 - «*Борошнопшеничне. Технічні умови*»
- **Масло вершкове** - ДСТУ 4399:2005 - «*Масло вершкове. Технічні умови*»
- **Яйця курячі** - ДСТУ 5028:2008 - «*Яйця курячі харчові. Технічні умови*»
- **Цукор білий кристалічний** - ДСТУ 4623:2006 - «*Цукор білий. Технічні умови*»
- **Шоколад чорний** - ДСТУ 4570:2006 - «*Шоколад.*

2.3. Методи досліджень

2.3.1 Технологія виготовлення дослідного зразка борошняного виробу

1. Підготовка сировини

Вершкове масло попередньо витримується при кімнатній температурі до досягнення м'якої консистенції. Усі інгредієнти перевіряються на відповідність органолептичним і фізико-хімічним показникам згідно з чинними стандартами.

2. Приготування масляно-цукрової емульсії

М'яке вершкове масло з'єднується з білим кристалічним цукром у співвідношенні, передбаченому рецептурою. Суміш збивається за допомогою планетарного міксера до отримання однорідної кремopodobної маси, що свідчить про рівномірне розподілення кристалів цукру в жировій фазі.

3. Введення яєчної маси

До емульсії поступово вводиться свіже куряче яйце, що забезпечує емульгування та структурне збагачення маси. Збивання продовжується до отримання однорідної, блискучої текстури.

4. Формування тіста

В отриману суміш додається попередньо просіяне пшеничне борошно, що сприяє насиченню маси киснем та покращує реологічні властивості тіста. Замішування здійснюється до формування тіста пластичної, м'якої консистенції, придатної для формування.

5. Введення структурного наповнювача

До тіста додаються попередньо подрібнені або порційно нарізані шматочки чорного шоколаду. Введення здійснюється на кінцевому етапі замішування з метою їх рівномірного розподілу без деформації структури.

6. Формування та випікання виробів

Із тіста формуються заготовки округлої або довільної форми масою приблизно 20–30 г. Випікання здійснюється у попередньо розігрітій духовій

шафі за температури 180 ± 5 °C протягом 15 хвилин, до утворення характерної золотистої скоринки.

7. Охолодження та подальший аналіз

Готові вироби охолоджуються за кімнатної температури протягом 30 хвилин, після чого підлягають органолептичній, фізико-хімічній та сенсорній оцінці відповідно до цілей дослідження.

2.3.2 Методика сенсорної оцінки борошняного виробу

1. Мета сенсорного аналізу

Метою аналізу є визначення сприйняття споживачем органолептичних характеристик дослідного зразка печива, зокрема: зовнішнього вигляду, текстури, запаху, смаку та загального враження. Дослідження проводиться з метою встановлення прийнятності виробу на рівні побутового споживання.

2. Формування дегустаційної комісії

Для сенсорного оцінювання сформовано дегустаційну панель, що складалася з 30 неінструктованих респондентів віком від 20 до 55 років, які не мали медичних протипоказань до споживання дослідного продукту, зі стандартною смаковою чутливістю.

3. Підготовка зразків до дегустації

Печиво виготовлялося безпосередньо перед аналізом, охолоджувалося до кімнатної температури ($20-22$ °C) і подавалося без маркування (кодоване тризначним числом) для уникнення психологічного впливу. Усі зразки подавалися в однаковому посуді, у стандартизованій масі (25 ± 2 г).

4. Умови проведення сенсорної оцінки

Дегустація проводилася у добре освітленому, нейтральному за кольором та запахом приміщенні. Перед початком оцінювання кожному учаснику надавали інструкцію щодо процедури аналізу, а також воду для нейтралізації смаку між зразками.

5. Оцінювані показники та шкала

Сенсорна оцінка здійснювалася за п'ятибальною шкалою (1 – найнижча оцінка, 5 – найвища) за такими показниками:

- Зовнішній вигляд (форма, колір, цілісність)
- Запах (інтенсивність і приємність аромату)
- Текстура (консистенція при надкусуванні, крихкість, вологість)
- Смак (гармонійність, насиченість, приємність післясмаку)
- Загальне враження (інтегральна оцінка сприйняття продукту)

6. Аналіз результатів

Зібрані бали оброблялися статистично: визначалися середні арифметичні значення, медіана, діапазон варіації та стандартне відхилення для кожного параметра. Отримані результати використовувалися для порівняння з альтернативними зразками (за наявності), а також для узагальнення висновків щодо готовності споживача до сприйняття інноваційного продукту. Опитування проводилось за допомогою GoogleForms а статистичне оброблення – MicrosoftExcel.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У світлі актуальних викликів, пов'язаних зі зростанням захворюваності на харчово-обумовлені хронічні недуги, таких як ожиріння, діабет II типу та серцево-судинні патології, посилюється необхідність у розробці харчових продуктів зі зниженою енергетичною цінністю та покращеними фізіолого-біохімічними властивостями. Особливої уваги в цьому контексті набувають борошняні вироби, які традиційно характеризуються високим вмістом простих вуглеводів та жирів, що істотно підвищують їхню калорійність.

Одним із перспективних напрямів оптимізації рецептури таких продуктів є використання водорозчинних харчових волокон, які, з одного боку, мають низьку або нульову енергетичну цінність, а з іншого — демонструють функціональні властивості, що можуть бути ефективно використані у харчових системах. Їхня гелеутворююча здатність, водоутримувальна активність, а також позитивний вплив на текстуру й стабільність структурних елементів роблять ці компоненти привабливими для розробки рецептур зі зниженим вмістом жиру або борошна.

Однак інтеграція водорозчинних волокон у рецептури борошняних виробів супроводжується змінами в технологічних і сенсорних характеристиках продукту. Зміна структури тіста, його пластичності, вологовмісту, здатності до формування стабільної м'якучки, а також потенційні зміни в смаку й ароматиці вимагають детального дослідження. Додатково, важливо оцінити не лише фізико-хімічні та органолептичні аспекти, а й ступінь сприйняття таких змін кінцевим споживачем, що має вирішальне значення для комерційного успіху продукту на ринку.

У межах цього розділу представлені результати експериментальних досліджень, які охоплюють оцінку впливу різних видів водорозчинних волокон на енергетичну цінність борошняного виробу, його органолептичні параметри та реологічні характеристики тіста. Також подано результати сенсорного аналізу готового продукту із залученням потенційних споживачів, що дозволяє комплексно оцінити доцільність використання

таких волокон у контексті сучасних харчових стратегій.

Отримані результати стали основою для формування практичних висновків щодо ефективності рецептурних змін та обґрунтування рекомендацій для харчової промисловості з розробки функціональних борошняних виробів з пониженим енергетичним навантаженням і збереженням високих органолептичних показників.

3.1 Механізм впливу водорозчинних харчових волокон на зниження калорійності борошняних виробів

3.1.1 Заміщення частини борошна

Одним із ключових механізмів зниження калорійності борошняних виробів є часткове заміщення пшеничного борошна водорозчинними харчовими волокнами (ВРХВ). Пшеничне борошно, особливо вищого сорту, є джерелом значної кількості легкозасвоюваних вуглеводів, насамперед крохмалю, який має високу енергетичну цінність (близько 4 ккал/г) та високий глікемічний індекс. Його надмірне споживання асоціюється з підвищеним ризиком розвитку інсулінорезистентності, ожиріння та метаболічного синдрому.

Введення до рецептури 5–20% ВРХВ, зокрема інуліну, псиліуму або бета-глюканів, дозволяє не лише зменшити частку крохмалю, але й компенсувати технологічні функції борошна завдяки здатності волокон взаємодіяти з водою, утворювати гелеутворюючі структури та впливати на в'язкість тіста. Такі волокна мають вкрай низьку енергетичну цінність — близько 1–2 ккал/г (деякі джерела вказують навіть менше 1 ккал/г), що пов'язано з їх слабким або відсутнім перетравленням у шлунково-кишковому тракті людини. У порівнянні з борошном, таке заміщення дозволяє суттєво знизити калорійність продукту — в середньому на 30–60 ккал на 100 г виробу залежно від рівня заміщення.[48]

Для наглядного розуміння розглянемо теоретичний приклад борошняного продукту з частковим заміщенням борошна на харчові волокна. В таблиці та на графіку наведено порівняння базової рецептури мафіну та модифікованої версії, у якій 10 г пшеничного борошна (близько 17% від загальної кількості) було замінено на водорозчинне харчове волокно — інулін. Таке технологічне рішення дозволило досягти зниження енергетичної цінності з 370 до 351 ккал на 100 г готового виробу, що є помітним результатом у розробці функціональних низькокалорійних продуктів. Приклад такого зменшення наведено в таблицях 3.1.1 – 3.1.2 [49]

Таблиця 3.1.1 «Рецептура класичного мафіну»

Інгредієнт	Кількість, г	Калорійність (ккал/г)	Внесок у загальну калорійність
Пшеничне борошно	60	3.6	216
Цукор	20	4.0	80
Вершкове масло	15	7.2	108
Яйце	10	1.5	15
Молоко	10	0.6	6
Разом	115 г		425 ккал (≈ 370 ккал / 100 г)

Таблиця 3.1.2 «Рецептура мафіну з додаванням врхв»

Інгредієнт	Кількість, г	Калорійність (ккал/г)	Внесок у загальну калорійність
Пшеничне борошно	50	3.6	180
Інулін	10	1.5	15
Цукор	20	4.0	80
Вершкове масло	15	7.2	108
Яйце	10	1.5	15
Молоко	10	0.6	6
Разом	115 г		404 ккал (≈ 351 ккал / 100 г)

Порівняння двох рецептур наведено в таблиці 3.1.3, та надає можливість наглядно оцінити вплив заміщення частини борошна харчовим волокном на загальну енергетичну цінність продукту

Таблиця 3.1.3 «Порівняння енергетичної цінності класичної та модифікованої рецептур»

Показник	Класичний мафін	Мафін з інуліном
Калорійність 100 г виробу	370 ккал	351 ккал
Зниження калорійності	–	–19 ккал

Продовження таблиці 3.1.3

Вміст швидких вуглеводів	Високий	Нижчий
Вміст харчових волокон	Мінімальний	Підвищений
Потенційний глікемічний індекс	Високий	Середній/Нижчий

3.1.2 Імітація жиру у рецептурах борошняних виробів за допомогою водорозчинних харчових волокон

Окрім можливості зменшення вмісту борошна, водорозчинні харчові волокна (ВРХВ) відкривають нові горизонти у сучасному харчовому виробництві завдяки своїй універсальності й функціональності. Ці речовини, природного походження, дедалі частіше розглядаються не лише як джерело харчової користі, а й як інструмент текстурної та структурної модифікації продуктів. В умовах постійного попиту на більш «легкі» та здорові альтернативи традиційним рецептурам, ВРХВ стають справжніми союзниками для технологів — дозволяючи зберегти звичну якість продукту при зменшенні вмісту цукру, жиру або калорійності загалом.[32]

Серед цієї групи особливу роль відіграють волокна з вираженими реологічними властивостями, здатні впливати на консистенцію, вологозв'язувальну здатність і відчуття у роті. Деякі з них можуть частково імітувати текстурні якості жирів, створюючи відчуття кремоподібності або ніжності, які раніше досягались лише завдяки насиченим інгредієнтам. Це відкриває широкі перспективи для розробки нових, здоровіших формул без компромісів у смаку.[40]

Окремої уваги заслуговує інулін — один із найвідоміших представників ВРХВ, який завдяки своїм унікальним властивостям активно використовується у функціональних продуктах, десертах, випічці та навіть молочних альтернативах. Його здатність до утворення стабільних гелів після зволоження робить його цінним інгредієнтом у створенні продуктів із зниженою жирністю, що залишаються привабливими для споживача за смаком і текстурою.

Один із ключових механізмів, завдяки якому водорозчинні харчові волокна (ВРХВ) можуть замінювати жири у харчових продуктах, полягає в їхній здатності до гелеутворення та формування специфічної текстури, наближеної до жироподібної. Особливу увагу в цьому контексті заслуговують інулін, β -глюкани, гуарова камедь, пектин та модифіковані полісахариди (наприклад, карбоксиметилцелюлоза, ксантанова камедь).[50]

Інулін, фруктоолігосахарид природного походження, за своєю будовою є полімером фруктози з невеликою кількістю глюкозних залишків. У водному середовищі інулін, особливо з довгим ланцюгом (довголанцюговий інулін), здатний формувати гелеутворюючі мережі завдяки взаємодії між молекулами, які стабілізуються водневими зв'язками. За певної концентрації (зазвичай понад 10%) і температурного режиму, інулін утворює стабільний гель з кремоподібною консистенцією, яка візуально та органолептично нагадує жир.

Це дозволяє використовувати інулін як структурний жирозамінник у різних харчових продуктах: від молочних десертів до випічки, паст і паштетів. Дослідження показують, що інулін при заміні 50% жиру в пісочному тісті зберігає хрусткість, а при повній заміні — забезпечує м'яку, вологу текстуру, подібну до варіантів із вершковим маслом [51]

Бета-глюкани, які переважно добувають з вівса та ячменю, також володіють високою здатністю до гелеутворення та в'язко-еластичної поведінки у водних системах. Вони здатні утримувати велику кількість води, формуючи гелі, які покращують структуру тіста, підвищують його вологозв'язувальну здатність, а також додають відчуття «повноти» у роті, характерне для продуктів з високим вмістом жиру.

Окрім того, було доведено, що додавання бета-глюканів у хлібопекарське тісто збільшує його в'язкість і зменшує швидкість черствіння готового виробу.

Модифіковані рослинні волокна, такі як гуарова камедь, ксантанова камедь, та карбоксиметилцелюлоза (СМС), додають еластичності, клейкості

та однорідності в текстуру харчових виробів. Їхня здатність стабілізувати емульсії та утворювати гомогенну структуру особливо цінна у зниженожирових продуктах (йогуртах, соусах, кремах), де потрібно утримати структуру без присутності жиру.

Гуарова камедь, зокрема, використовується для покращення структурної стабільності за рахунок підвищення в'язкості та утримання вологи. Це допомагає запобігти висиханню та зменшенню об'єму продукту при термічній обробці [52]

Однією з ключових властивостей жирів у харчових продуктах є їх здатність створювати відчуття гладкості, кремовості та насиченості під час жування. Саме це відчуття багато споживачів асоціюють з “жирністю” продукту. Водорозчинні харчові волокна (ВРХВ), такі як інулін, псиліум, полідекстроза та бета-глюкани, завдяки своїй унікальній структурі та властивостям здатні імітувати це відчуття [53].

Головна причина цього полягає в їхній високій гідрофільності — здатності утримувати значні об'єми води. При контакті з водою молекули волокон розпушуються, утворюючи густі, в'язкі гелі, які за структурою нагадують жирові емульсії. Це відбувається через те, що у волокнах багато гідроксильних груп, які здатні зв'язувати молекули води, утворюючи тривимірні гідрогелеві мережі. Саме завдяки цим гелям волога утримується в продукті, створюючи відчуття «повноти» та «об'єму» в роті [54].

Особливе значення в цьому процесі має інулін. Його довголанцюгові фракції ($DP \geq 10$) при концентраціях близько 10–15% утворюють термостабільні гелі з дуже дрібною текстурою. Ці гелі мають кремоподібну консистенцію, дуже схожу на текстуру жирних емульсій, наприклад, вершків або майонезу. Коли така структура потрапляє до ротової порожнини, вона рівномірно покриває слизову оболонку, створюючи відчуття гладкості, що зазвичай асоціюється з жирністю продукту.

Інші волокна, як-от псиліум або бета-глюкани, теж здатні формувати подібні в'язкі системи, але з різною ступенем густоти та

стабільності. Псиліум, наприклад, утворює слизоподібний гель, який не лише покриває ротову порожнину, але й забезпечує тривале відчуття зволоження, що додатково посилює відчуття ситості.

Крім того, ці гідрогелі утворюють у роті тонку плівку, яка зменшує тертя між мовою і піднебінням, надаючи продуктам «слизької» або «маслянистої» текстури. Тому різні типи волокон надають різний виробничий інтерес, розглянутий в таблиці 3.1.4 Цей ефект дуже важливий для сенсорної імітації жирів, адже саме завдяки цьому досягається приємне, повне відчуття «жирності» навіть за мінімальної кількості жиру [55].

Таблиця 3.1.4 «Характерне використання харчових волокон в залежності від їх функціональних властивостей»

Тип волокна	Гідратаційна здатність (г води/г волокна)	Тип гелю / текстури	Сенсорний ефект у роті	Приклад продукту застосування
Інулін	8–10	Кремopodobний, дрібнодисперсний гель	Гладкий, кремовий, «жирний»	Йогурти, десерти, креми
Псиліум	10–20	Слизopodobний, в'язкий гель	Обволакаючий, зволожуючий, «слизький»	Випічка, напої, соуси
Бета-глюкани	5–7	В'язкірозчини, гелі	В'язкий, гладкий, підсилює вологість	Хлібобулочні вироби, супи
Полідекстроза	3–5	Помірно в'язкий розчин	Легкий, освіжаючий, незначна кремовість	Напої, дієтичні продукти

3.1.3 Вплив водорозчинних харчових волокон на глікемічний індекс та метаболічні процеси

Водорозчинні харчові волокна (ВРХВ) відіграють ключову роль у регуляції глікемічної відповіді організму після споживання їжі. Їхня здатність знижувати глікемічний індекс (ГІ) продуктів пов'язана з рядом фізико-хімічних властивостей, таких як гідрофільність, в'язкість, здатність до гелеутворення та взаємодія з ферментативною активністю травного тракту. Ці властивості сприяють уповільненню травлення та абсорбції вуглеводів у тонкому кишечнику, забезпечуючи більш плавний і тривалий глікемічний відгук, що позитивно позначається на ситості, контролі апетиту та загальному метаболічному гомеостазі.

Основним механізмом впливу ВРХВ на глікемічну відповідь є збільшення в'язкості кишкового хімусу. В'язкі розчинні волокна, такі як β -глюкани (овес, ячмінь), гуарова камедь, пектин і псиліум, утворюють гелеподібні структури, які утруднюють контакт ферментів з полісахаридами, знижуючи швидкість їхнього розщеплення на моносахариди. Також сповільнюється дифузія глюкози через шар слизу, що покриває ентероцити[36]. Різні механізми розглянуто в таблиці 3.1.5.

Це сприяє зменшенню пікових концентрацій глюкози у крові після їжі (постпрандіальна глікемія) та меншому викиду інсуліну, що є особливо важливим для осіб із метаболічним синдромом, інсулінорезистентністю чи предіабетом[23].

Таблиця 3.1.5. «Механізми зниження глікемічного індексу»

Тип волокон	Джерело	Механізм зниження ГІ
β -глюкани	овес, ячмінь	підвищення в'язкості, уповільнення абсорбції глюкози
Гуарова камедь	гуарові боби	гелеутворення, затримка травлення

Продовження таблиці 3.1.5

Пектин	фрукти, цитрусові	утворення гелів, інгібування амілази
Інулін	цикорій, топінамбур	пребіотична дія, непряма модуляція метаболізму
Псиліум	насіння подорожника	в'язка маса, зменшення швидкості транзиту

Зниження глікемічного індексу продукту безпосередньо впливає на формування тривалого відчуття ситості. Поступове вивільнення глюкози в кров забезпечує стабільне енергопостачання без різких коливань рівня цукру та інсуліну. Це дозволяє зменшити бажання доїдати після основного прийому їжі та знижує ймовірність перекусів, особливо продуктами з високою енергетичною щільністю [37].

Поряд з цим, деякі типи ВРХВ, особливо ферментовані (інулін, фруктоолігосахариди), у товстому кишечнику утворюють коротколанцюгові жирні кислоти (КЖК), зокрема пропіонат, який здатний пригнічувати продукцію глюкози в печінці, а також активізувати вивільнення гормонів ситості (GLP-1, PYY) [45].

Таким чином механізм зниження енергетичної цінності борошняних виробів за рахунок використання водорозчинних харчових волокон (ВРХВ) є багатофакторним і охоплює як фізико-хімічні, так і сенсорно-функціональні аспекти.

По-перше, ВРХВ дозволяють частково або повністю замінювати жири та частину борошна в рецептурі, не погіршуючи при цьому структурні та смакові властивості продукту. Завдяки своїй здатності утворювати в'язкі гідроколоїдні системи (особливо інулін, псиліум, β -глюкани), ці волокна формують текстуру, яка на дотик та під час жування нагадує жир: м'яку, обволікаючу, з ефектом «гладкості» або «кремовості». Це дозволяє зменшити кількість масла чи маргарину, необхідну для досягнення приємного ротозаповнення, без втрати органолептичної якості виробу.

По-друге, волокна знижують калорійність не лише завдяки низькій власній енергетичній цінності (близько 1,5–2 ккал/г для ферментованих ВРХВ), але й за рахунок механізмів зменшення біодоступності енергії з інших нутрієнтів. Зокрема, гуарова камедь, псиліум та β -глюкани знижують швидкість розщеплення та абсорбції жирів і вуглеводів, що зменшує загальний глікемічний та ліпідний відгук після споживання. Це сприяє як безпосередньому зниженню доступної енергії, так і пролонгованому відчуттю ситості, що, в свою чергу, зменшує подальше споживання калорій.

По-третє, гідрофільна природа ВРХВ значно підвищує вологозв'язувальну здатність тіста, стабілізуючи його структуру, затримуючи втрату вологи під час випікання і зберігання. Це дозволяє не лише підтримувати м'якість і свіжість виробів за меншої частки жирів, а й технологічно компенсувати їх функціональні властивості в рецептурі.

Таким чином, включення до складу борошняних виробів водорозчинних харчових волокон створює комплексний ефект зниження енергетичної цінності, який формується не тільки за рахунок заміщення більш калорійних інгредієнтів, а й за рахунок фізіологічного впливу на травлення, метаболізм та поведінкову відповідь організму. Це дозволяє розглядати ВРХВ як ефективний компонент рецептурної корекції для створення продуктів з пониженим вмістом калорій, збереженням текстури, смаку та харчової цінності.

3.2 Вплив водорозчинних харчових волокон на органолептичні властивості борошняних виробів

3.2.1 Вплив водорозчинних харчових волокон на смакові властивості борошняних виробів

Смак є ключовим параметром, що визначає прийнятність харчових продуктів для споживача. У процесі розробки функціональних борошняних виробів, збагачених харчовими волокнами, важливо враховувати не лише нутритивну цінність, а й потенційний вплив цих добавок на смаковий профіль

продукту.

Водорозчинні харчові волокна, на відміну від нерозчинних, мають здатність розчинятись у воді з утворенням в'язких або гелеутворювальних розчинів, які беруть участь у фізико-хімічних взаємодіях із молекулами ароматичних і смакових сполук. Ці властивості безпосередньо впливають на розподіл, інтенсивність та стабільність смакових компонентів у борошняному середовищі [58] [59].

Одним з найцікавіших представників водорозчинних харчових волокон сьогодні є інулін, саме за свої унікальні властивості — зокрема легка солодкість, гелеутворювальна здатність, вологоутримання і взаємодія з білками та жирами — роблять інулін особливо цінним функціональним інгредієнтом у харчовій промисловості, зокрема у виробництві борошняних виробів.

Інулін має приблизно 10% солодкості порівняно з сахарозою. Ця помірна солодкість дає змогу частково замінити цукор у рецептурі, не втрачаючи смакової привабливості продукту. Наприклад, дослідження Franck (2002) продемонструвало, що в здобних виробах інулін може компенсувати до 30% доданого цукру без суттєвих змін у сприйнятті солодкості. Така властивість є особливо важливою при створенні продуктів зі зниженим вмістом цукру або функціональних виробів для діабетичного харчування [60], [64].

Інулін у водному середовищі утворює гелеобразні структури, які сприяють рівномірному розподілу смакових сполук у тісті. Це знижує "різкість" або надмірну інтенсивність деяких інгредієнтів (напр., дріжджового присмаку або кислотності від закваски), формуючи більш округлений, "м'який" смаковий профіль. Вироби з інуліном зазвичай описуються як такі, що мають делікатніший, гармонійніший смак.

Коротколанцюговий інулін (з невеликою ступінню полімеризації, $DP < 10$) має здатність створювати сенсорне відчуття вершковості, навіть у відсутності жиру. Це явище обумовлено його в'язкістю та здатністю до

гелеутворення. Так за даними досліджень заміна 25% жиру в здобному печиві на інулін не лише зменшила калорійність продукту, а й посилила відчуття "молочності" та приємного післясмаку [61], [62].

Інулін може маскувати гіркі нотки, особливо в рецептурах із використанням цільнозернового або бобового борошна, яке містить фенольні сполуки. Цей ефект зумовлений як фізичним обволіканням молекул гіркоти, так і впливом на рецептори на язичі. Дослідження показують, що інулін у кількості 4% знижував гіркоту цільнозернового хліба, водночас покращуючи оцінку післясмаку на 15–20% у сенсорному тестуванні. [20]

Інулін взаємодіє з білками (особливо молочними та яйцевими), утворюючи міцели, які утримують жир і воду, тим самим підсилюючи відчуття повноти смаку. У рецептах тортів, кексів, мафінів він дозволяє частково або повністю замінити частину жиру або яєчного жовтка, зберігаючи смакову насиченість. Вироби не сприймаються як "дієтичні", що є важливим для споживача.

Попри переваги, інулін має сенсорні обмеження. При перевищенні 8–10% у рецептурі може виникати неприємне "обволікаюче" відчуття в роті, яке деякі дегустатори описують як "слизоподібне" або "волого-крейдове". Це пов'язано з надмірним гелеутворенням та збільшеною в'язкістю маси. Також у поєднанні з кислотними середовищами (напр., зброжене тісто) інулін може частково гідролізуватись, утворюючи фруктозу, що змінює профіль солодкості [64].

Іншим цікавим предствником є псиліум, адже його механів відрізняється від механізму впливу інуліну. Завдяки унікальній структурі арабіноксиланів і слизистих полісахаридів, псиліум має високу здатність до набухання у воді, утворюючи в'язкий гель. Хоча сам псиліум не має вираженого власного смаку, його вплив на органолептичні властивості, особливо смак, є значним і опосередкованим — через зміну текстури, розподілу смакових молекул, взаємодію з білками та жирами.

Псиліум практично не має власного смаку, але він може змінювати

інтенсивність сприйняття інших смакових домінант. Наприклад, у виробках з низьким вмістом солі або кислоти (напр., несолодка здоба, хліб на заквасці), додавання псиліуму приглушує смакові піки — сіль здається менш яскравою, а кислотність м'якшою. Це пояснюється його здатністю утримувати воду і, відповідно, дифузійно “розтягувати” смакові молекули у товщі тіста. [64]

При додаванні псиліуму в кількості 3–5% до пшеничного тіста, споживачі відзначали м'який, збалансований смак хліба і булочок, хоча вміст солі був на 25% нижчим, ніж у контрольному зразку [65].

Псиліум значно впливає на структуру та вологість м'якуша, що прямо корелює з відчуттям "повноти" або "наповненості" смаку. Завдяки здатності зв'язувати до 40 разів більше води, ніж його маса, він створює ніжну, соковиту, злегка «мокру» текстуру, яка продовжує вивільнення смакових сполук під час жування. Це забезпечує триваліший і м'якший післясмак [66].

Особливо яскраво цей ефект виявляється в безглютенних виробках (наприклад, мафіни, печиво, хліб з рисового або кукурудзяного борошна), де псиліум компенсує відсутність глютену, покращуючи смакову насиченість. Завдяки своїй високій в'язкості псиліум затримує ароматичні молекули у матриці тіста, що може бути як перевагою, так і недоліком. У складних рецептах з використанням спецій (кориця, кардамон, ваніль) або есенцій (лимон, мигдаль) він сприяє більш тривалому збереженню аромату, особливо у зберіганні. Однак у дегустаціях одразу після випікання аромат сприймається як менш яскравий, порівняно з контролем [67].

Псиліум може бути корисним у зниженні відчуття гіркоти, кислотності або металевих ноток, які виникають у рецептах із використанням білкових добавок (ізолятів), мінеральних підсилювачів (напр., заліза або кальцію) чи альтернативних видів борошна. Так наприклад при розробці безглютенового хліба з додаванням бобового борошна було показано, що псиліум у концентрації 4% зменшував інтенсивність гірких ноток майже на 30% за оцінками сенсорної панелі. [68]

Попри загальну нейтральність смаку, високі концентрації

псиліуму(>15%) можуть викликати відчуття слизистості, гелевості або навіть "мильного" післясмаку, особливо в солодких виробах. Це ефект в'язкого обволікання рецепторів, що погіршує смакову чіткість. Також надлишок псиліуму пригнічує хрусткість і може спричинити надмірну вологість, що негативно сприймається у виробах типу печива або крекерів [65].

3.2.2 Вплив водорозчинних харчових волокон на ароматичні властивості борошняних виробів

Аромат є одним із ключових факторів, що визначає перше враження споживача від харчового продукту. У випадку борошняних виробів, він формується в результаті складної взаємодії хімічних, фізичних і технологічних процесів, які відбуваються на різних етапах виготовлення – від замішування тіста до зберігання готового продукту. Введення до рецептури водорозчинних харчових волокон, таких як псиліум, інулін чи бета-глюкани, помітно змінює ці процеси, зокрема ті, що пов'язані з утворенням і збереженням ароматичних компонентів.

Однією з визначальних характеристик ВРХВ є їх здатність активно зв'язувати воду. Наприклад, псиліум, за свідченням дослідження Roselletal. (2009), може адсорбувати до 40–50 г води на 1 г власної маси, що свідчить про його надзвичайну гідрофільність. Це створює значну кількість гелеподібної маси в середині тіста, яка суттєво змінює його структуру та реологічні властивості. Саме ця зміна і стає відправною точкою для подальших трансформацій ароматичного профілю [31].

У процесі випікання під впливом високих температур відбувається інтенсивне випаровування летких ароматичних молекул, таких як альдегіди, кетони, фурани тощо, які й створюють характерний "печений" аромат. У традиційних рецептурах більша частина цих компонентів вивільняється в повітря в момент термічної обробки, саме тому запах свіжоспеченого хліба є таким сильним і впізнаваним.

Проте при наявності ВРХВ у рецептурі картина дещо змінюється. Через

велику кількість пов'язаної вологи гелеподібна структура тіста уповільнює транспортування легких компонентів до поверхні. Волога діє як бар'єр, що стримує вивільнення молекул у повітря. Таким чином, аромат, який зазвичай формує емоційний "ефект першого вдиху" при відкритті упаковки або вийманні виробу з печі, може виявитися менш інтенсивним. Це не означає, що ароматичних сполук утворюється менше, – вони просто залишаються усередині виробу довше, зберігаючи потенціал для розкриття під час споживання [69].

Ароматичні властивості випічки значною мірою формуються завдяки реакціям Майяра — складним хімічним перетворенням, що виникають між редукуючими цукрами та аміногрупами білків або амінокислот під час нагрівання. Ці реакції особливо активні при температурі вище 140°C та у відносно сухому середовищі. Волога, зв'язана харчовими волокнами, знижує температуру в поверхневому шарі тіста і створює умови, менш сприятливі для таких реакцій.

Крім того, присутність ВРХВ у рецептурі нерідко супроводжується зменшенням кількості редукуючих цукрів, особливо в дієтичних або функціональних виробках, де цукор замінюється клітковиною. Це додатково зменшує доступність основних субстратів для реакцій ароматотворення. Відтак у скоринці формується менше ароматичних сполук, і характерні "печені", "карамелізовані" або "смажені" ноти виявляються приглушеними [70].

Хоча початковий аромат може бути менш вираженим, це не означає, що загальна ароматична насиченість знижується. Завдяки щільній і вологій структурі м'якуша, ароматичні молекули залишаються затриманими всередині продукту. При споживанні — у процесі жування та взаємодії зі слиною — ці сполуки поступово вивільняються, створюючи тривалий та приємний післяаромат. Сенсорне сприйняття в такому разі набуває нових характеристик: замість миттєвого насиченого "удару" аромат розгортається повільніше, поступово, але стабільно, залишаючи довготривале

враження. Цей ефект часто використовується у високоякісній гастрономії, де післясмак і післяаромат відіграють ключову роль у загальному враженні від страви. [31]

Ще однією перевагою використання ВРХВ є позитивний вплив на збереження аромату протягом усього терміну придатності виробу. Щільна структура та зв'язана волога не лише зберігають текстуру хліба чи іншої випічки, але й уповільнюють втрати летких речовин, які зазвичай легко випаровуються під час охолодження, транспортування або зберігання.

Це означає, що виріб із додаванням харчових волокон навіть через кілька днів після випікання здатен зберігати більш інтенсивний аромат, ніж аналогічний продукт без клітковини. У певних випадках спостерігається навіть ефект "відкриття аромату" при повторному підігріві, коли зсередини м'якуша починають вивільнятися раніше утримувані ароматичні молекули [71].

Інулін, як представник поліфруктанів, здатен піддаватися частковому ферментуванню за участю молочнокислих бактерій під час ферментації тіста на заквасці. В результаті цього процесу утворюються органічні кислоти (молочна, оцтова тощо), які знижують рН тіста до значень 4.0–5.0. Це, своєю чергою, впливає на ферментативні реакції.

Ферменти, такі як амілази, протеази та ліпази, які активно функціонують у нейтральному середовищі, в умовах підвищеної кислотності втрачають активність. Це призводить до неповного розщеплення основних макромолекул (крохмалю, білків, жирів), а відтак — і до зменшення утворення ароматичних попередників, які мали би надходити у реакції ароматотворення. Крім того, підвищення кислотності змінює й характер самих летких сполук, надаючи аромату кислуватих, заквашених, іноді навіть оцтових відтінків [72].

Окремо варто згадати про фізико-хімічну здатність ВРХВ утримувати ароматичні молекули на молекулярному рівні. Завдяки своїй гелеподібній природі та великій площі поверхні, волокна здатні формувати слабкі водневі,

ван дер Ваальсові та гідрофобні зв'язки з леткими сполуками. Це уповільнює їх вивільнення і дозволяє регулювати розподіл ароматичних речовин у продукті.

Дослідження продемонструють, що додавання всього 3% псиліуму до рецептури мафінів призводить до зниження летких сполук у повітряному просторі після випікання на 22%. Однак при сенсорній оцінці виявилось, що споживачі оцінюють післяаромат як більш тривалий, ніж у контрольній групі — на 17% вище [73].

3.3 Вплив харчових волокон на реологічні властивості тіста

Харчові волокна, залежно від свого типу та концентрації, здатні суттєво змінювати реологічні властивості тіста. Їхній вплив зумовлений як фізико-хімічними характеристиками самих волокон, так і їхньою взаємодією з компонентами борошна, зокрема білками, крохмалем і водою. Основними механізмами, через які волокна модифікують поведінку тіста, є здатність до поглинання та утримання води, вплив на розвиток клейковинної сітки, а також функціонування як фізичних наповнювачів у тістовій матриці [79].

3.3.1 Консистенція та гідратаційна поведінка

Навіть незначне введення розчинних харчових волокон (у межах 0,5–1%) спричиняє помірне підвищення консистенції тіста при однаковому рівні доданої води. Такий ефект проявляється у збільшенні пікової висоти на кривій консистенції, що свідчить про підвищення опору тіста до механічного впливу на початкових етапах замішування. Це може бути пов'язано з частковою гідратацією розчинних волокон ще до початку розвитку клейковини, що впливає на структуру водно-борошняної системи [74].

Зі збільшенням концентрації нерозчинних волокон до 10% спостерігається зменшення часу, необхідного для формування тіста. Така динаміка пояснюється обмеженим доступом води до клейковинних білків через конкуренцію з волокнами, які мають високу водозв'язувальну здатність. Швидший розвиток тіста може бути пов'язаний із зменшенням

часу, необхідного для гідратації білкових структур, оскільки значна частина вологи вже зв'язана волокнами [78]

Одночасно з цим відбувається збільшення ширини піка на консистограмі, що інтерпретується як підвищення опору тіста до деформації. Це може свідчити про зростання миттєвої еластичності або ж про підвищення здатності тіста чинити опір розтягуванню під дією механічного навантаження [75].

3.3.2. Водозв'язувальна здатність і її роль

Одним із ключових факторів, який визначає реологічну поведінку тіста при додаванні харчових волокон, є їхня водозв'язувальна здатність (WHC). Встановлено, що із збільшенням продукту $[WHC \times \% \text{ доданих волокон}]$ зменшується час формування тіста та зростає його миттєва пружна відповідь. Волокна, які здатні поглинати значні об'єми води, знижують загальну доступність вологи для інших гідрофільних компонентів, змінюючи баланс у системі тіста. У випадках, коли ця величина перевищує певний поріг, спостерігається виражене зростання механічної жорсткості тіста [76].

У процесі замішування частина води, яку поглинають харчові волокна, не повертається у систему при повторних циклах розтягування й релаксації. Це зумовлює підвищену стабільність структури тіста в умовах механічного навантаження. Таким чином, волокна виконують роль своєрідного буфера, що зменшує доступність води, але одночасно стабілізує просторову організацію тіста [77].

3.3.3 В'язкопружна поведінка тіста

Реологічні параметри тіста у стані спокою були оцінені за допомогою гармонічних вимірювань при низьких амплітудах деформацій, у межах лінійного в'язкопружного режиму. Всі зразки тіста демонстрували типову поведінку структурованої еластичної мережі: модуль збереження (G') перевищував модуль втрат (G'') в усьому діапазоні частот. Такий розподіл модулів вказує на переважання пружних властивостей у структурі тіста, що

характерно для клейковинної мережі [81].

Особлива увага приділяється поведінці систем при найнижчій дослідженій частоті ($\omega = 0.06$ рад/с), де оцінюється умовна висота в'язкопружного плато. Встановлено, що значення модулів G' і G'' зростають зі збільшенням вмісту нерозчинних волокон. Це свідчить про посилення структурованості тіста та підвищення його механічної стабільності в стані спокою [78].

Додатково спостерігається, що нахил кривої залежності $\log(G')$ від $\log(\omega)$ є вищим у зразках, збагачених нерозчинними волокнами, ніж у зразках з додаванням розчинних волокон. Це вказує на більш розгалужену та стабільну мережу, що частково пояснюється функціонуванням волокон як твердих часток-наповнювачів, які посилюють тістову матрицю. У той же час, розчинні волокна переважно змінюють в'язкість рідкої фази, лише частково впливаючи на структуру еластичної мережі [78],[79].

Таблиця 3.3.1 вплив додавання розчинних харчових волокон до тіста

Параметр	Контроль (0% волокон)	З додаванням 10%
Час розвитку тіста, хв	8.3	7.5
Ширина піка, FU	30	31
Консистенція тіста, FU	500	530
Модуль збереження G' (0.06 рад/с), Па	1200	1250

Дані таблиці 3.3.1 демонструють вплив додавання розчинних харчових волокон у кількості 10% до пшеничного тіста порівняно з контрольним зразком без додаткових компонентів. Застосування харчових волокон призводить до незначного зниження часу розвитку тіста (з 8.3 до 7.5 хв), що може бути пов'язано з частковим зв'язуванням води волокнами, що зменшує її доступність для гідратації білків.

Ширина піка та консистенція тіста демонструють слабке зростання, що свідчить про незначне підвищення стабільності тіста за умов замішування. Це може бути наслідком утворення гелеподібної фази або зміни в'язкості

водної фази під дією водорозчинних харчових волокон.

Щодо в'язкопружних властивостей, спостерігається невелике зростання модулів G' та G'' , що свідчить про деяке підсилення структури тіста у стані спокою. Проте ці зміни не є критичними, що вказує на м'який структурний вплив розчинних волокон у невеликій концентрації.

Такі результати свідчать про те, що розчинні харчові волокна при помірному дозуванні можуть коригувати реологічні властивості тіста, зберігаючи його еластичність і стабільність, не спричиняючи суттєвих негативних змін у процесі замішування.

Вміст водорозчинних харчових волокон впливатиме також на час розвитку тіста. Час розвитку тіста — це проміжок часу, необхідний для досягнення тіста оптимальної консистенції під час замішування. Він вимірюється з моменту початку замісу до того моменту, коли клейковинна сітка максимально сформована й тісто набуває стійкої, еластичної структури, готової до подальшого оброблення. На графіку наведено залежність часу розвитку тіста від вмісту водорозчинних харчових волокон. [84].

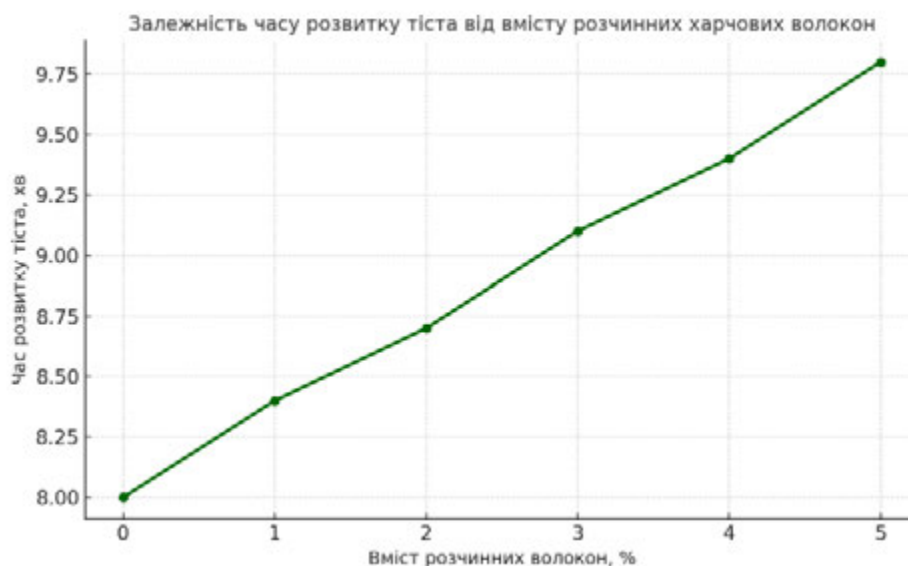


Рис 3.3 – Графік залежності часу розвитку тіста від вмісту розчинних харчових волокон

З графіка видно чітку тенденцію: із зростанням концентрації розчинних волокон у рецептурі (від 0 до 5%) час розвитку тіста поступово збільшується.

Це свідчить про те, що розчинні волокна мають здатність утримувати воду, знижуючи її доступність для гідратації білків, відповідальних за формування глютенної сітки.

Поступове збільшення часу розвитку тіста з 8.0 до 9.8 хв свідчить про уповільнення процесу утворення тіста з бажаними реологічними характеристиками. Така поведінка є типовою для середовищ, у яких активна в'язко-еластична структура формується із затримкою через часткову "конкуренцію за вологу" між волокнами та білками.

Ці результати доцільно враховувати при моделюванні рецептур збагачених волокнами борошняних виробів для збереження оптимальних технологічних властивостей тіста

3.3.4 Процеси заморожування тіста

Додавання до тіста харчових волокон, істотно впливає на вміст клейковини, а також на її структурну організацію протягом тривалого зберігання у замороженому вигляді. При включенні до складу тіста фракцій, отриманих з харчових джерел, таких як пшениця, овес, кукурудза або фрукти, вміст клейковини зменшується. Це зниження обумовлене насамперед тим, що самі харчові волокна не містять білків, відповідальних за формування клейковинної мережі [80] [81].

Процес заморожування та подальше зберігання тіста призводить до поступового погіршення білкової структури, зокрема клейковинної мережі. Через 120 днів глибокого заморожування спостерігається загальне зменшення кількості клейковини. У тісті без будь-яких додатків зменшення становить 1,44%, тоді як у зразках з додаванням волокон це зниження варіюється: пшеничні волокна – 0,56%, овес – 2,65%, кукурудза – 2,21%, фрукти – 1,35%. Хоча ці волокна не містять глютенних білків, вони демонструють здатність до уповільнення деградаційних процесів у білковій мережі тіста під час заморожування. Такий ефект пояснюється взаємодією харчових волокон з водою і білками, що стабілізує внутрішню структуру

тіста та зменшує втрати клейковини.

Крім кількісних змін у вмісті білка, відзначаються також якісні зміни у структурі білкової мережі, що формує клейковину. Вторинна структура білків, зокрема структура глютену, зазнає трансформацій під впливом заморожування. У структурі білка виділяються основні типи конфігурацій: бета-шари, альфа-спіралі, випадкові клубки та бета-повороти. Переважну частину структури складають бета-шари і бета-повороти, які разом утворюють приблизно 80% усієї структури глютену у свіжому тісті.

Додавання волокон, таких як пшеничні, вівсяні або кукурудзяні, призводить до збільшення частки впорядкованих альфа-спіралей. Така динаміка вказує на покращення структурної впорядкованості білкової мережі, що, своєю чергою, сприяє збереженню текстури тіста під час заморожування.

З плином часу також спостерігається зменшення частки бета-шарів, що одночасно супроводжується збільшенням кількості бета-поворотів. Цей перехід свідчить про конформаційні зміни, які знижують механічну стійкість глютенової мережі. Таким чином, наявність волокон у складі тіста сприяє менш вираженій деструкції вторинної структури глютену [80].

Мікроструктурний аналіз тіста з використанням електронної мікроскопії виявляє суттєві відмінності між зразками з харчовими волокнами та без них. Після 120 днів заморожування у звичайному тісті спостерігається фактичне зникнення регулярної пористості. Натомість у зразках із додаванням харчових волокон структура залишається більш стабільною і частково збереженою.

У таблиці 3.3.2 наведено вміст клейковини в зразках тіста, виготовлених із додаванням різних видів харчових волокон, а також зміну цього показника після 120 днів зберігання в замороженому стані. Контрольне тісто, що не містило жодних добавок, мало найвищий початковий рівень клейковини — 27,00%. Водночас усі зразки з доданими волокнами демонструють нижчі початкові значення, що зумовлено відсутністю у волокнах білків,

відповідальних за формування глютенної сітки [82],[83],[80]

Таблиця 3.3.2 «Зміна вмісту клейковини під час заморожування тіста»

Тип тіста	Початковий вміст клейковини (%)	Вміст через 120 днів (%)	Зміна (% пунктів)
Контрольне тісто (без добавок)	27	25,56	-1,44
З пшеничними волокнами	20,83	20,27	-0,56
З вівсяними волокнами	20,76	18,11	-2,65

Продовження таблиці 3.3.2

З кукурудзяними волокнами	24,31	22,1	-2,21
З фруктовими волокнами	19,46	18,11	-1,35

Ці дані підтверджують, що фракції харчових волокон, навіть не маючи у своєму складі клейковинних білків, можуть модифікувати фізико-хімічні властивості тіста. Їх здатність затримувати воду, зв'язувати білки та стабілізувати структуру глютенної сітки робить їх перспективними для застосування у виробництві заморожених напівфабрикатів із покращеними якісними характеристиками.

Таким чином, харчові волокна не лише зменшують початкову концентрацію клейковини у тісті, але й відіграють захисну роль під час тривалого замороженого зберігання, зменшуючи деструкцію білкової мережі, стабілізуючи структуру глютену та покращуючи збереження текстури тіста.

3.4 Ринкові перспективи та дієтологічна доцільність борошняних виробів з водорозчинними харчовими волокнами в контексті сучасних споживчих тенденцій

Сучасні споживчі тенденції як чинник перспективності харчових продуктів, збагачених водорозчинними харчовими волокнами

На сучасному етапі розвитку харчової промисловості спостерігається стійке

зростання попиту на продукти з високою функціональною цінністю. Особливої актуальності набувають продукти, збагачені харчовими волокнами, зокрема водорозчинними, які асоціюються зі зниженням ризику розвитку метаболічних порушень, покращенням функціонального стану кишківника та загальним оздоровленням організму. Такі продукти стають дедалі більш привабливими для широких верств споживачів, що зумовлено низкою соціокультурних та дієтологічних чинників.

Значна частина споживачів орієнтується на продукти з потенціалом профілактичної дії. Поширення уявлень про важливість кишкового здоров'я, регуляцію рівня глюкози в крові, а також нормалізацію ліпідного профілю сприяє зростанню попиту на харчові продукти з високим вмістом волокон, насамперед – розчинних (інулін, пектини, β -глюкани). Ці компоненти активно використовуються у виробництві хлібобулочних виробів, де вони дозволяють одночасно знизити вміст жиру або цукру та покращити реологічні характеристики тіста [85].

Функціональні інгредієнти, такі як пребіотики, стали центральними у формуванні нових продуктів. За даними ринкових досліджень, протягом останніх років спостерігається суттєве зростання продажів товарів з маркуванням "високий вміст волокон" або "збагачено пребіотиками". Це демонструє орієнтацію ринку на створення не лише харчових, а й терапевтично-орієнтованих продуктів, що відіграють роль у покращенні здоров'я споживачів [86].

Актуальними залишаються вимоги до простоти, натуральності та зрозумілості складу продуктів прагнення до так званого "cleanlabel". Застосування водорозчинних харчових волокон із відомих джерел (наприклад, кореню цикорію, вівса, яблук, псиліуму) сприяє підвищенню довіри споживачів. Продукти з маркуванням "без ГМО", "органічний продукт", "натуральні інгредієнти" мають перевагу при виборі, особливо серед міленіалів та представників покоління Z.

Покоління міленіалів і Z-споживачів демонструють підвищену

зацікавленість у продуктах, що поєднують користь для здоров'я, інноваційність та рослинне походження. Їхній вибір часто ґрунтується на функціональній цінності, етичності виробництва та зниженому впливі на довкілля. У цьому контексті хлібобулочні вироби з водорозчинними волокнами можуть відповідати одразу кільком критеріям: рослинне походження, користь для кишківника, покращення складу харчового [87]

Аналітичні огляди прогнозують стале зростання ринку харчових волокон у найближче десятиріччя. Зокрема, очікується, що глобальний ринок водорозчинних харчових волокон досягне понад 17,6 млрд доларів США до 2033 року, при середньорічному темпі зростання (CAGR) на рівні понад 5 %. Основними драйверами цього процесу залишаються інтерес до метаболічного здоров'я, профілактики ожиріння, цукрового діабету 2 типу та серцево-судинних захворювань [88].

У Таблиці 3.4.1 представлено динаміку зростання світового ринку водорозчинних харчових волокон у період з 2020 по 2030 рік, а також очікувані темпи його подальшого розвитку. Згідно з прогнозами, обсяг ринку цих інгредієнтів зросте з 7,9 млрд доларів США у 2020 році до понад 17,6 млрд доларів до 2030 року, що відповідає середньорічному темпу зростання (CAGR) на рівні 5,6–6,9%. Особливу роль у структурі споживання відіграють хлібобулочні вироби, частка яких неухильно зростає і досягне орієнтовно 34 % у 2030 році. Така тенденція зумовлена підвищеним попитом на продукти з доданою функціональністю, зокрема тими, що сприяють покращенню роботи шлунково-кишкового тракту, нормалізації метаболізму та підвищенню харчової цінності за рахунок вмісту клітковини. Водночас важливими рушіями розвитку ринку залишаються зростаюча обізнаність споживачів щодо переваг пребіотичних волокон, активне впровадження інноваційних рішень у рецептурах хлібобулочних виробів і формування нових форматів функціональних продуктів [89].

Таблиця 3.4.1 «Динаміка зростання світового ринку водорозчинних харчових волокон у період з 2020 по 2030 рік,

Показник	2020 рік	2023 рік	2025 рік (прогноз)	2030 рік (прогноз)
Обсяг ринку, млрд USD	7,9	10,4	13,2	17,6
CAGR (середньорічне зростання), %	—	6,90%	6,80%	5,60%

Продовження таблиці 3.4.1

Основні сегменти поживання	Напої, заміник м'яса	Хлібобулочні вироби, молочні вироби	Спортивне харчування	Дієтичне харчування
Частка хлібобулочних виробів у структурі ринку	~28 %	~30 %	~32 %	~34 %

Використання водорозчинних харчових волокон (ВРХВ) у харчових системах, зокрема в борошняних виробках, є обґрунтованим з позицій сучасної нутриціології та превентивної медицини. ВРХВ, такі як інулін, β -глюкани, пектини та гуміарабік, відіграють важливу роль у регуляції функціонального стану шлунково-кишкового тракту, зокрема шляхом селективного стимулювання росту корисної мікрофлори (пребіотичний ефект), зниження глікемічного індексу продуктів, а також участі у зниженні рівня холестерину в сироватці крові [90].

Дієтологічна доцільність включення ВРХВ до складу харчових продуктів, зокрема хлібобулочних виробів, обумовлена також їхньою здатністю виконувати технологічні функції без підвищення енергетичної цінності продукту. У порівнянні з іншими компонентами, ВРХВ можуть частково заміщувати жири або цукри, сприяючи зниженню калорійності без

втрати сенсорних властивостей. Наприклад, інулін або полідекстроза можуть моделювати кремову текстуру або надавати солодкуватий присмак без внесення додаткових калорій [91].

Згідно з рекомендаціями Європейського агентства з безпеки харчових продуктів (EFSA), добове споживання харчових волокон має становити щонайменше 25 г на добу для дорослої людини, однак у більшості країн спостерігається хронічне недоотримання клітковини (так званий «fiber gap»). Включення водорозчинних харчових волокон до складу масових продуктів харчування, таких як хліб або печиво, дозволяє частково компенсувати цю дефіцитарність за рахунок підвищення доступності клітковини для широких верств населення[92].

Окрім того, водорозчинні харчові волокна мають потенціал у дієтотерапії при метаболічному синдромі, цукровому діабеті 2 типу, ожирінні, а також у харчуванні людей похилого віку, для яких характерні знижене споживання клітковини та погіршене травлення. Їхній внесок у м'яке модулювання складу мікробіоти, уповільнення всмоктування глюкози, а також підвищення відчуття ситості дозволяє розглядати водорозчинні харчові волокна як ключовий інструмент у розробці функціональних і профілактичних харчових продуктів[93]

Таким чином, включення водорозчинних харчових волокон до складу борошняних виробів є не лише технологічно доцільним, але й цілком виправданим з точки зору харчової цінності та потенційного впливу на здоров'я споживачів у рамках концепції здорового харчування.

Оцінка внутрішнього ринку функціональних борошняних виробів в Україні демонструє зростаючий інтерес як виробників, так і споживачів до використання водорозчинних харчових волокон у складі хлібобулочних продуктів. Сучасні тенденції здорового харчування, зокрема популяризація дієт із високим вмістом клітковини, низьким глікемічним індексом та зниженою енергетичною цінністю, сприяють розвитку сегмента функціональних харчових продуктів, до якого належать і вироби з

додаванням водорозчинних волокон [3][93].

На національному рівні спостерігається активізація впровадження інноваційних рецептур у хлібопекарській галузі. Щорічно Дегустаційна комісія розглядає понад 300 нових зразків хлібобулочних та кондитерських виробів, з яких значна частина позиціонується як продукти з підвищеною біологічною цінністю або функціональними властивостями [94]. У рецептурах дедалі частіше використовуються харчові волокна як інгредієнти з функціонально-технологічною дією, серед яких переважають водорозчинні волокна, такі як інулін, β -глюкани, псиліум, цитрусові пектини тощо [31].

На ринку України доступні як окремі волокнисті добавки (наприклад, пшеничні, соєві, цитрусові або бамбукові волокна), так і готові суміші для обробки борошна з відповідними інструкціями щодо дозування (переважно у межах 2–5 % до маси борошна). Такі добавки демонструють добру технологічну сумісність, не порушують реологічних властивостей тіста, а в деяких випадках навіть сприяють стабілізації структури, поліпшенню вологоутримання та подовженню терміну зберігання готових виробів [95].

Зокрема, у процесі розроблення рецептур пшеничного хліба використовуються добавки, які здатні зв'язувати до 3–4 літрів води на 1 кг продукту, що позитивно впливає на структуру крихти та затримує черствіння. Також в Україні реалізуються функціональні хлібобулочні вироби, марковані як джерело клітковини або як продукти з низьким вмістом цукру. До таких виробів належать деякі види хліба з цільнозернового борошна, збагаченого волокнами, продукти безглютенової групи із псиліумом, а також печиво та булочки з добавками інуліну чи фруктових пектинів [96].

Розвиток цього сегмента стримується рядом факторів, зокрема недостатнім інформуванням споживачів щодо переваг водорозчинної клітковини, обмеженою доступністю інгредієнтів вітчизняного виробництва та необхідністю адаптації технологічних процесів під нові рецептури. Водночас наявність стабільного попиту на продукти з функціональною спрямованістю, розвиток приватних хлібопекарських підприємств, а також





можливості локалізації виробництва харчових волокон створюють передумови для подальшого зростання ринку [97].

Огляд доступних в Україні функціональних продуктів з підвищеним вмістом харсочих волокон представлено в таблиці 3.4.2

Таблиця 3.4.2 «Функціональні продукти з додаванням водорозчинних харчових волокон»

№	Назва продукту	Тип виробу	Вміст волокон	Користь (з маркування / склад)	Продукт
1	GullonZeroFibre (без цукру)	Пісочне печиво	Інулін, олігофруктоза, горохова клітковина	≥ 6 г/100 г; низький ГІ, без цукру	
2	GullonDietNatureFibre (без цукру)	Цільнозернове печиво	Інулін, горохова клітковина	9,3 г/100 г; веганський, без цукру	
3	GullonFibreOatSugar-Free	Вівсяне печиво без цукру	Інулін	Клітковина, без цукру, підтримка травлення	
4	VELN Kakaobiscuit (без цукру)	Какао печиво	Інулін	Низьковуглеводне, багате на клітковину	

Продовження таблиці 3.4.2

5	Fiber+ CookiesPreandProbiotic, Enzymedica	Пребіотичне печиво	Інулін, пребіотики, пробіотики	Клітковина + живі культури, підтримка кишкової мікрофлори	
6	Печиво Piselli вівсяне з клітковиною, 250 г	Вівсяне печиво	Рослинна клітковина (неуточнено)	Підвищений вміст клітковини	
7	Тонке імбирне печиво з клітковиною (ВВЕ, короткий термін)	Імбирне печиво	Наявність клітковини (тип не уточнено)	Високий вміст жирів, цукру, солі; короткий термін споживання	
8	Печиво DETKI Vital зі смаком какао з клітковиною без цукру	Какао-печиво	Клітковина (високий вміст, імовірно інулін)	Без цукру, збагачено волокнами, зниженокалорійне	

Отже з дослідження видно, що ринок функціональних продуктів з додаванням водорозчинних харчових волокон в Україні є вкрай лімітованим, а отже є великий потенціал впровадження такого продукту.

3.6. Практичне дослідження рецептурного заміщення традиційних енергомістких інгредієнтів водорозчинними харчовими волокнами

Для доповнення Обґрунтування доцільності використання водорозчинних харчових волокон для зниження калорійності борошняних виробів актуальним є дослідження рецептурного заміщення традиційних енергомістких інгредієнтів, таких як пшеничне борошно та жир, компонентами з високим вмістом розчинної харчової клітковини. Одним із таких інгредієнтів, що привертає особливу увагу, є псиліум (лушпиння насіння подорожника) — природне джерело гелетвірної клітковини, здатної поглинати значну кількість води, утворюючи в'язкі структури, подібні до глютенної сітки.

Як було розглянуто раніше псиліум не має значної енергетичної цінності (менше ніж 20 ккал/100 г), проте здатний структурно заміщувати частину борошна та жиру, зберігаючи цілісність тіста та текстуру готового виробу. Це робить його ефективним компонентом для зменшення калорійності без істотної втрати органолептичних характеристик виробу. Також псиліум має високу гідрофільність, що сприяє підвищенню вологоутримуючої здатності тіста та збереженню свіжості готової продукції протягом зберігання[98].

Для практичної апробації ефективності псиліуму було розроблено серію експериментальних рецептур печива з шоколадною крихтою — виробу, що традиційно має високий вміст жиру й борошна. Базовий зразок містив класичне співвідношення інгредієнтів: яйце, масло, цукор, пшеничне борошно та шоколадна крихта. У модифікованих рецептах було здійснено часткову заміну борошна та масла на псиліум у кількостях 3 г та 10 г відповідно, з подальшим розрахунком зниження калорійності та аналізом впливу на якість тіста.

Запропоновані рецептури не лише демонструють технологічну доцільність використання псиліуму, а й підтверджують його функціональну роль як структуроутворювача і замітника енергомістких інгредієнтів, що є

перспективним напрямом у розробці здорових борошняних виробів з пониженою енергетичною цінністю.

У межах дослідження, спрямованого на обґрунтування доцільності використання водорозчинних харчових волокон з метою зниження калорійності борошняних виробів, було обрано модельну рецептуру традиційного пісочного печива з шоколадною крихтою. Цей зразок виступає контрольним, оскільки відображає типовий склад класичного кондитерського виробу з високим вмістом легкозасвоюваних вуглеводів і жиру, що формує його високу енергетичну щільність. Використання саме такого рецепту дозволяє чітко простежити вплив функціональних добавок, зокрема псиліуму, на текстуру, харчову цінність та функціонально-технологічні властивості тіста та готового продукту.

Рецептурна композиція наведена в таблиці 3.5.1 включає традиційні сировинні компоненти, властиві класичному печиву цукрового типу. Вершкове масло є основним джерелом жиру, що забезпечує м'якість, розсипчастість і сприяє формуванню пластичної структури тіста. Куряче яйце виконує функцію структуроутворювача, стабілізатора емульсії та джерела білка. Цукор не лише забезпечує солодкий смак, а й бере участь у процесах меланоїдиноутворення та карамелізації під час випікання, що формує колір скоринки. Пшеничне борошно слугує джерелом крохмалю та глютену, відповідає за формування структури тіста, а додавання шоколадної крихти виконує здебільшого органолептичну функцію, збагачуючи смак і аромат готового виробу. Енергетична цінність такого продукту розрахована в таблиці 3.5.2.

Таблиця 3.5.1 «Контрольна рецептура пісочного печива з шоколадною крихтою. Склад сировини на 1 умовну порцію»

Інгредієнт	Кількість, г	Ккал	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г
Яйце	34	48.62	4.42	3.40	0.37
Масло	50	374.00	0.25	41.00	0.30
Цукор	80	318.40	0.00	0.00	79.84
Борошно	98	356.72	9.80	0.98	74.48
Шоколад	60	321.00	2.94	18.00	36.60
Псиліум	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Усього	322	1418,74	17,41	63,38	191,59

Таблиця 3.5.2. «Енергетична цінність запропонованого рецепту на 100г продукту»

Ккал	440,60
Білки, г	5,41
Жири, г	19,68
Вуглеводи, г	59,50

Технологічна схема приготування:

1. Розм'якшене вершкове масло збивається з цукром до утворення кремоподібної маси.
2. До суміші вводиться свіже куряче яйце з подальшим збиванням до однорідності.
3. Додається просіяне пшеничне борошно, маса вимішується до утворення тіста з пластичною консистенцією.
4. В кінці замісу вносяться шматочки шоколаду, які рівномірно розподіляються по тісту.
5. З тіста формуються печива довільної форми, які випікаються за температури 180 °С протягом 15 хвилин до утворення золотистої скоринки.

Ця рецептура використовується як еталонна для порівняння з модифікованими зразками, в яких частина борошна та жиру замінюється

гелетвірною харчовою добавкою — псиліумом (лусковиною подорожника), що має доведену водозв'язувальну, емульгувальну та структуроутворювальну функціональність. Порівняльний аналіз зразків із різною концентрацією псиліуму дозволяє оцінити його потенціал як компонента для зниження калорійності без погіршення реологічних і органолептичних характеристик печива.

У контексті дослідження впливу водорозчинних харчових волокон на зниження енергетичної цінності борошняних виробів було розроблено модифіковану рецептуру пісочного печива з частковим заміщенням традиційних висококалорійних інгредієнтів (борошна та жиру) харчовим волокном псиліум. Ця рецептура є другим експериментальним зразком і включає 3 г псиліуму, що еквівалентно заміні 4 г вершкового масла та 5 г пшеничного борошна. Вибір саме такої кількості обґрунтовується структурними, функціональними й гідратаційними властивостями псиліуму. Псиліум, як джерело гелетвірних водорозчинних харчових волокон (до 70–80% у складі), має високу здатність до набухання у водному середовищі — до 10–15 разів у масі від власної ваги[98]. Це дозволяє йому ефективно утримувати вологу, створюючи колоїдну сітку, яка частково відтворює жирозамінні та структуроутворювальні властивості масла та борошна в тісті. У пропорційному перерахунку:

1 г псиліуму може замінити в середньому 1,5 г жиру або 1,6–2 г борошна за функціональним навантаженням.

Отже при додаванні 3 г псиліуму експериментально доцільно вилучити 4 г масла та 5 г борошна, що підтверджує теоретичне збереження бажаної консистенції та плинності тіста.

Оновлена рецептура представлена в таблиці 3.5.3, а розрахунок його енергетичної цінності в таблиці 3.5.4

Таблиця 3.5.3 «Рецептура печива з шоколадною крихтою з додаванням водорозчинного харчового волокна. Склад сировини на 1 умовну порцію»

Інгредієнт	Кількість, г	Ккал	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г
Яйце	34	48.62	4.42	3.40	0.37
Масло	48.5	362.78	0.24	39.77	0.29
Цукор	80	318.40	0.00	0.00	79.84
Борошно	96.5	351.26	9.65	0.96	73.34
Шоколад	60	321.00	2.94	18.00	36.60
Псиліум	3	0.60	0.07	0.01	0.03
Усього	322 г	1402.66	17.32	62.14	190.47

Таблиця 3.5.2. «Енергетична цінність запропонованого рецепту на 100г продукту»

Ккал	435,61
Білки, г	5,38
Жири, г	19,30
Вуглеводи, г	59,15

У порівнянні з базовою рецептурою, етапи приготування залишаються незмінними, за винятком попереднього гідратаційного насичення псиліуму. З метою покращення зв'язування з іншими інгредієнтами, псиліум рекомендується заздалегідь розвести в частині рідини, яка виділяється під час змішування яйця з масляною масою. Це сприяє рівномірному розподілу гелю в тісті та попереджає локальне грудкування волокон.

Третя експериментальна рецептура пісочного печива передбачає використання 10 г псиліуму, що становить суттєву функціональну модифікацію рецептурного складу. Такий підхід дозволяє оцінити межі технологічної ефективності псиліуму в умовах глибшого заміщення традиційних висококалорійних інгредієнтів — борошна та жиру — без критичного погіршення структурних або органолептичних характеристик продукту.

З огляду на літературні дані псиліум має виражені гідрофільні

властивості, що зумовлені високим вмістом розчинної фракції арабіноксиланів. Його гідратаційна здатність може сягати до 15 г води на 1 г сухої речовини, що дозволяє замінити частину рецептурних компонентів, які беруть участь у створенні структури тіста, — зокрема пшеничного борошна як джерела крохмалю та клейковини, а також вершкового масла як джерела емульгованого жиру.

Використовуючи раціональний підхід до балансування рецептури, 10 г псиліуму еквівалентно:

- заміщенню 12 г пшеничного борошна ($\approx 12,2\%$ від загальної маси борошна в базовому рецепті);
- заміщенню 8 г вершкового масла ($\approx 16\%$ від маси жиру у базовому рецепті).

Таке співвідношення забезпечує збереження достатньої пластичності тіста при підвищенні його в'язкості, що важливо з технологічної точки зору для пісочного тіста короткої структури.

Оновлену рецептуру наведено в таблиці 3.5.5, а розрахунки харчової цінності в таблиці 3.5.6

Таблиця 3.5.5 «Рецептура печива з шоколадною крихтою з додаваннямводорозчинногохарчового волокна. Склад сировини на 1 умовнупорцію»

Інгредієнт	Кількість, г	Ккал	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г
Яйце	34	48.62	4.42	3.40	0.37
Масло	43	321.64	0.21	35.26	0.26
Цукор	80	318.40	0.00	0.00	79.84
Борошно	83	302.12	8.30	0.83	63.08
Шоколад	60	321.00	2.94	18.00	36.60
Псиліум	10	2.00	0.25	0.05	0.11
Усього	310	1313,78	16,12	57,54	180,26

Таблиця 3.5.2. «Енергетична цінність запропонованого рецепту на 100г продукту»

Ккал	423,80
Білки, г	5,20
Жири, г	18,56
Вуглеводи, г	58,15

Очікувані ефекти

- Зниження калорійності печива (за рахунок заміщення >10% енергоємних інгредієнтів);
- Збільшення харчової цінності за рахунок внесення розчинної клітковини з пребіотичним ефектом;
- Модифікація текстури: очікується помірне підвищення щільності, зменшення крихкості та більш виражена гелевидна структура в порівнянні з контролем;
- Збереження стабільності структури при випіканні за рахунок гелевої матриці, яка утримує вологу та перешкоджає надмірному висиханню.

У результаті дослідження було отримано три зразки печива (рисунок 1).

Під час первинного візуального аналізу можна відзначити суттєві відмінності у зовнішньому вигляді зразків. Найпомітнішою є зміна характеру розтікання тіста: зі збільшенням кількості доданого псиліуму спостерігається зменшення розтікання текстури. Це свідчить про вплив псиліуму на структуроутворення тіста під час випікання.



Незважаючи на ці зміни, внутрішня текстура печива за візуальними ознаками залишається однорідною та прийнятною для споживання, розглянута в таблиці 3.5.7. У зразках, до складу яких входив псиліум, не було виявлено гелеподібних згустків, що свідчить про його рівномірне розподілення у масі тіста.

	1
	2
	3

Таблиця 3.5.7 «зміна текстури та поведінки розтікання печива»

Для більш повної оцінки якості зразків був проведений сенсорний

аналіз, у якому взяли участь 30 респондентів. Всі учасники не є сертифікованими експертами в галузі сенсорного аналізу, що дозволяє розглядати їх як представників цільової аудиторії — звичайних споживачів та потенційних покупців продукту.

На першому етапі сенсорного аналізу було здійснено оцінювання візуального аспекту трьох зразків печива з різним вмістом водорозчинних харчових волокон. Оцінювання проводилося за критеріями привабливості зовнішнього вигляду, рівномірності забарвлення, форми та загального враження. Отримані результати опитування наведено на рисунках 3.5.1, 3.5.2 та 3.5.3.

Перший зразок отримав переважно нейтральні відгуки. Дегустатори відзначили, що зовнішній вигляд зразка є допустимим, проте не викликає вираженого естетичного задоволення. Другий зразок був оцінений позитивніше — учасники описали його як «приємний», звертаючи увагу на більш рівномірне забарвлення та привабливу форму. Найвищу візуальну оцінку отримав третій зразок, який був охарактеризований як «дуже приємний». Його зовнішній вигляд найбільше відповідав очікуванням споживачів: зразок мав однорідну структуру, апетитне забарвлення та акуратну форму, що свідчить про найкраще сприйняття за візуальними параметрами серед усіх досліджуваних варіантів.

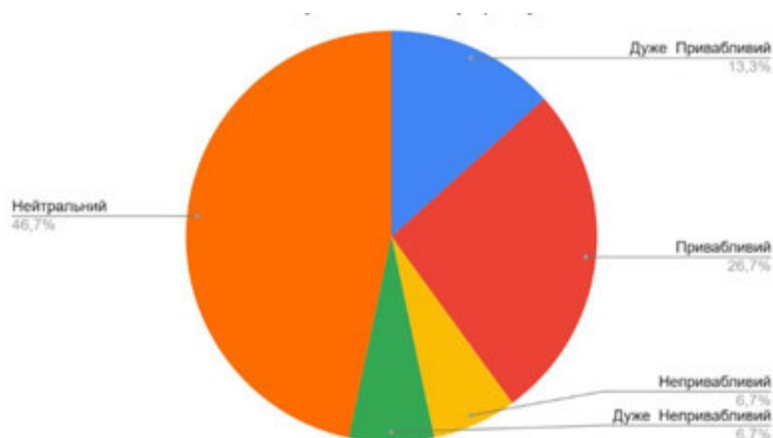


Рис. 3.5.1 «Результати оцінки візуального аспекту першого зразку»

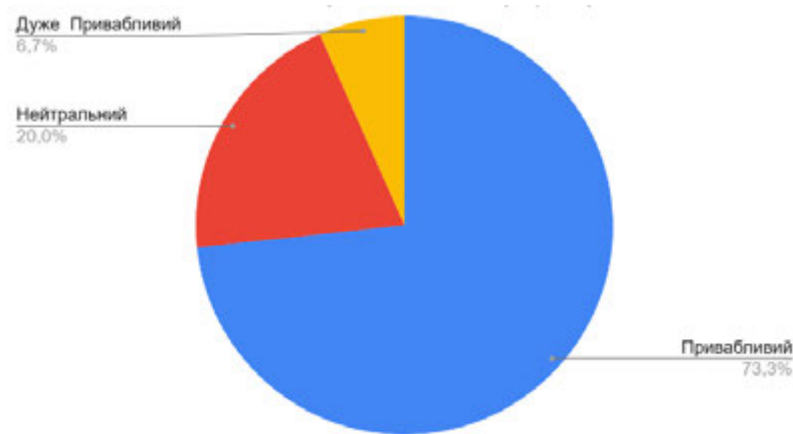


Рис. 3.5.2 «Результати оцінки візуального аспекту другого зразку»

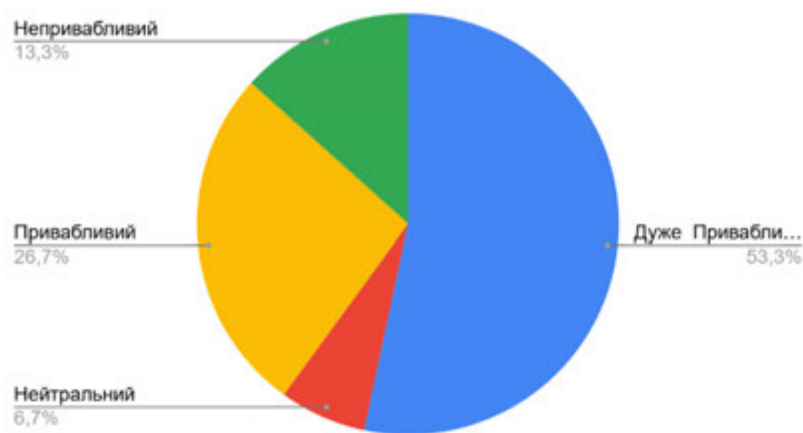


Рис.3.5.3 «Результати оцінки візуального аспекту третього зразку»

Наступним критерієм сенсорного оцінювання був аромат (запах) печива. Цей показник є важливим чинником формування загального враження від продукту, оскільки безпосередньо впливає на апетит і споживчі вподобання.

За результатами опитування, що розглянуті на рисунках 3.5.4, 3.5.5 та 3.5.6 – перший зразок отримав переважно позитивні відгуки: 73% дегустаторів охарактеризували його аромат як «приємний», водночас 12% респондентів відзначили наявність неприємних ноток. Подібні результати були зафіксовані й для другого зразка, який отримав ідентичний розподіл оцінок — 73% «приємний» та 12% «неприємний» запах.

Найвищу оцінку за ароматичними характеристиками отримав третій зразок: більшість учасників визначили його запах як «дуже приємний» або

«приємний», що свідчить про виражену ароматичну привабливість. Незважаючи на загальну позитивну оцінку, у 12% респондентів аромат викликав негативні асоціації, що може бути пов'язано з індивідуальними особливостями сприйняття запахів або специфікою використаної сировини.

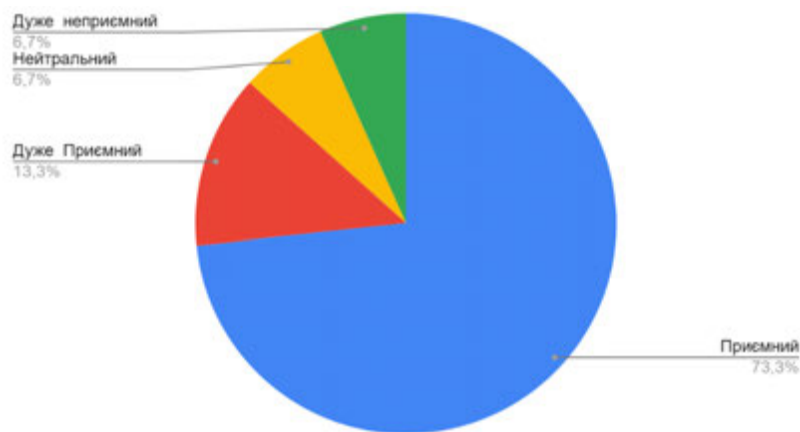


Рис.3.5.4 «Результати оцінки аромату першого зразку»

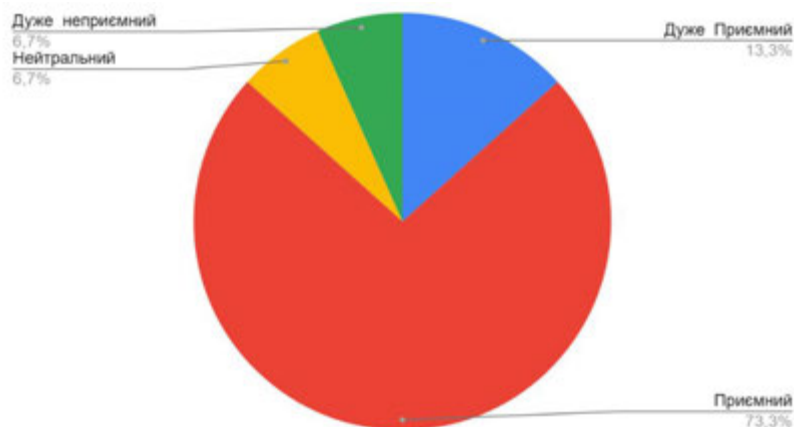


Рис.3.5.5 «Результати оцінки аромату другого зразку»

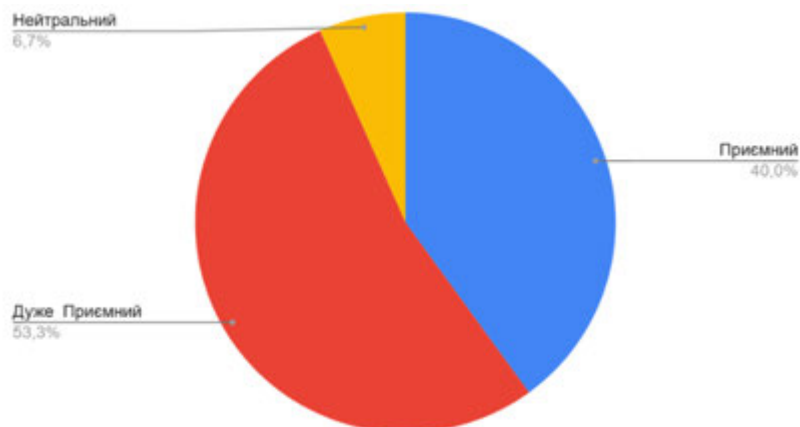


Рис.3.5.6 «Результати оцінки аромату третього зразку»

На наступному етапі сенсорного аналізу учасникам було запропоновано оцінити текстуру кожного зразка печива. Цей параметр включає такі аспекти, як хрусткість, крихкість, однорідність та загальне тактильне відчуття під час споживання. Отримані результати представлені на рисунках 3.5.7, 3.5.8 та 3.5.9.

Перший зразок отримав переважно нейтральні (46%) або помірно позитивні (40%) оцінки. Дегустатори відзначали задовільну структуру, однак вказували на деяку сухість або недостатню однорідність.

Другий зразок був сприйнятий краще — 66% учасників оцінили його текстуру позитивно. У коментарях зазначалося покращення хрусткості та більш приємна консистенція порівняно з першим зразком.

Найвищі оцінки були надані третьому зразку: 53% респондентів охарактеризували його текстуру як «дуже приємну», ще 33% — як «приємну». Це свідчить про найвищий рівень сприйняття текстурних властивостей серед усіх трьох зразків, що може бути зумовлено оптимальним поєднанням інгредієнтів, які позитивно вплинули на структуру виробу.

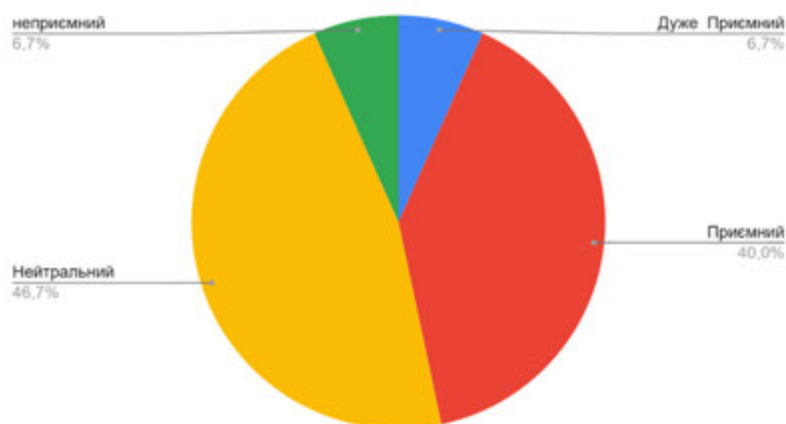


Рис.3.5.7 «Результати оцінки текстури першого зразку»

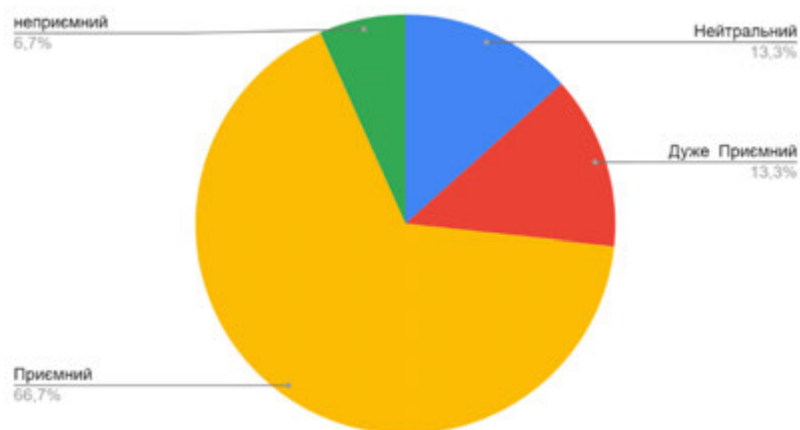


Рис.3.5.8 «Результати оцінки текстури другого зразку»

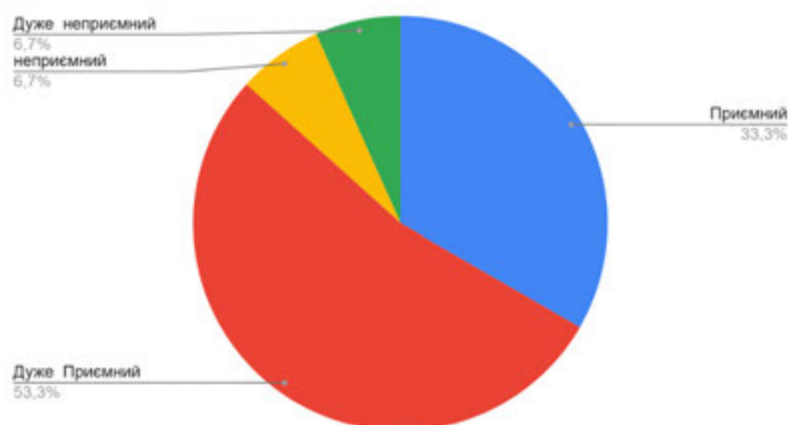


Рис.3.5.9 «Результати оцінки текстури третього зразку»

Наступним етапом сенсорного аналізу була оцінка смакових характеристик кожного зразка печива. Смак — один із ключових чинників споживчого вибору, тому цей параметр є особливо важливим при розробці нових рецептур.

Перший зразок отримав переважно позитивні оцінки: 66% учасників дегустації визнали його «смачним». Незначна частка респондентів висловила нейтральну думку або утрималась від висловлення яскравого враження.

Другий зразок продемонстрував аналогічний результат — 66% дегустаторів також оцінили його як «смачний», однак додатково 20% охарактеризували смак як «дуже смачний», що вказує на покращення органолептичного сприйняття порівняно з першим зразком.

Найкращі смакові характеристики продемонстрував зразок №3, який став лідером за цим критерієм. Зокрема, 53% респондентів зазначили, що він є «дуже смачним», ще 33,3% — «смачним», а 13,3% дали нейтральну оцінку. Важливо підкреслити, що жоден з учасників не надав негативної оцінки цьому зразку, що свідчить про найвищу загальну прийнятність серед усіх досліджуваних варіантів. Результати наведені на рисунках 3.5.10, 3.5.11 та 3.5.12

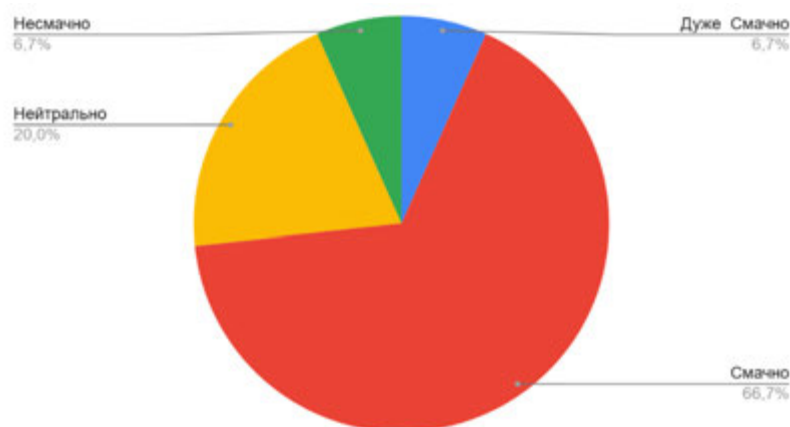


Рис. 3.5.10 «Результати оцінки смаку першого зразку»

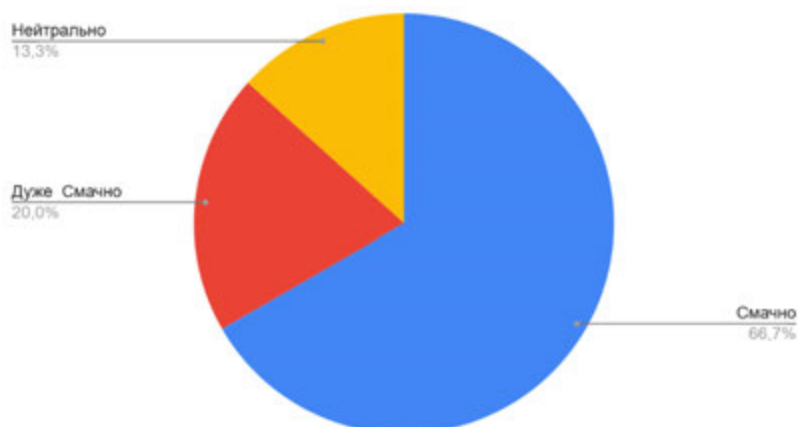


Рис. 3.5.11 «Результати оцінки смаку другого зразку»

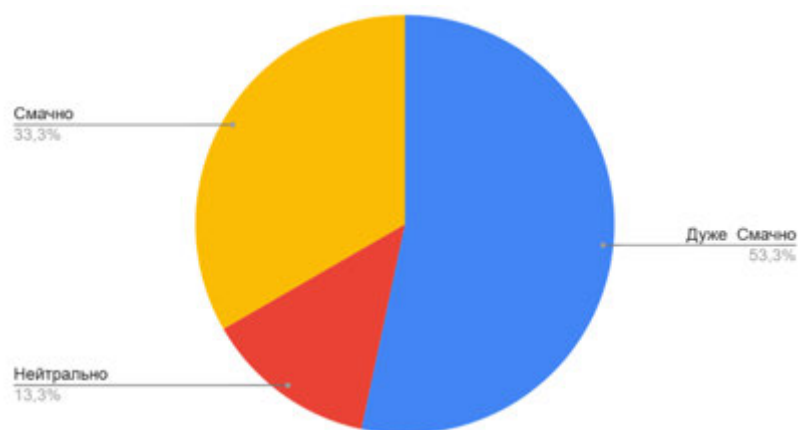


Рис. 3.5.12 «Результати оцінки смаку третього зразку»

Для підтвердження попередніх результатів фінальним етапом сенсорного дослідження стало з'ясування готовності потенційних споживачів придбати досліджувані зразки продукту. Це питання дозволило оцінити загальне сприйняття виробу з урахуванням усіх органолептичних характеристик.

Перший зразок викликав переважно стриману реакцію: 40% респондентів відповіли «не знаю», що свідчить про невизначеність щодо доцільності придбання саме цього зразка. Водночас 40% учасників надали позитивні або дуже позитивні відповіді, що свідчить про наявність певного потенціалу для подальшого вдосконалення продукту.

Другий зразок продемонстрував кращі результати: 66% опитаних відповіли «так», а ще 13,3% дали відповідь «впевнене так», що вказує на значно вищу споживчу привабливість порівняно з першим зразком.

Найвищу оцінку отримав третій зразок — 46,7% учасників висловили впевнену готовність придбати цей продукт у супермаркеті. Це свідчить про високий рівень прийняття зразка серед потенційних споживачів і підтверджує успішність його рецептурного складу з урахуванням органолептичних характеристик. Результати наведено на рисунках 3.5.13, 3.5.14 та 3.5.15.

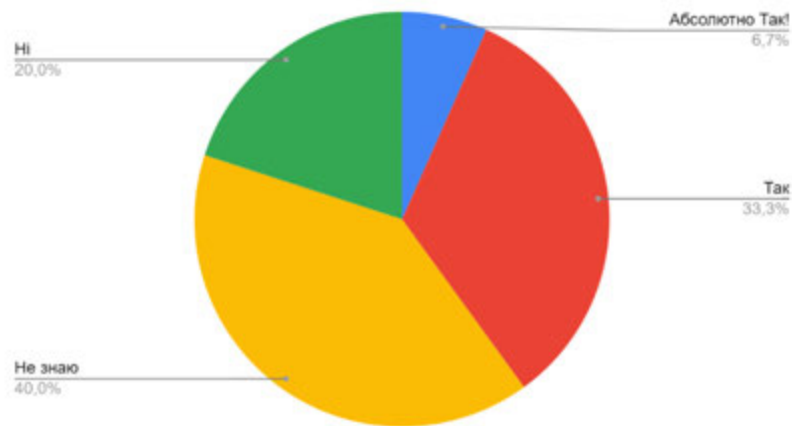


Рис.3.5.13 «Результати оцінки споживчого інтересу до першого зразку»

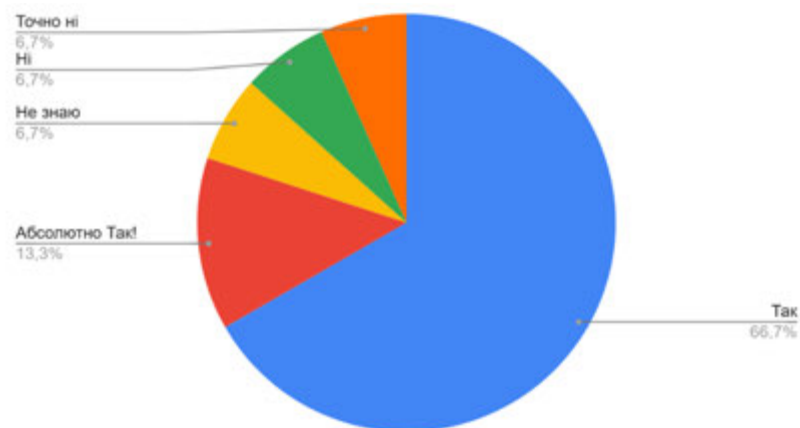


Рис.3.5.14 «Результати оцінки споживчого інтересу до другого зразку»

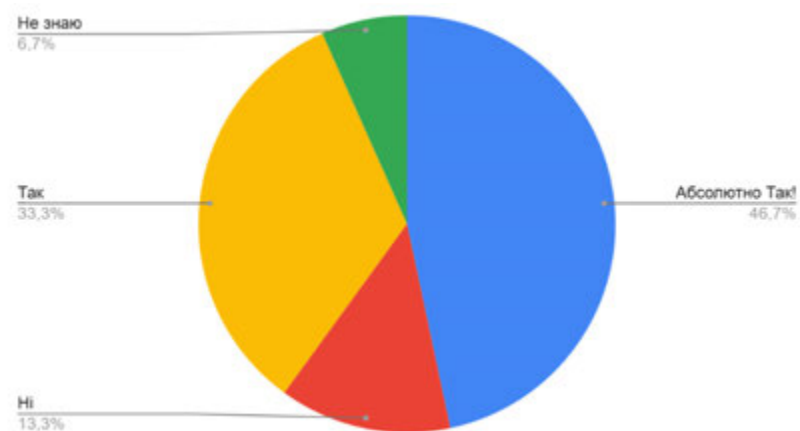


Рис. 3.5.15 «Результати оцінки споживчого інтересу до третього зразку»

Проведений сенсорний аналіз трьох зразків печива з шоколадною крихтою дозволив не лише оцінити сприйняття різних рецептур споживачами, а й виявити позитивний вплив водорозчинних харчових волокон — зокрема псиліуму — на органолептичні характеристики готового виробу.

Перший зразок, який відповідав класичному рецепту без додавання функціональних інгредієнтів, був сприйнятий досить стримано. Його зовнішній вигляд, аромат, текстура та смак здебільшого отримували нейтральні або помірно позитивні оцінки. Також учасники опитування часто не могли визначитися, чи хотіли б вони придбати саме цей варіант печива, що свідчить про його посередню споживчу привабливість.

Другий зразок, у якому до рецептури було введено невелику кількість псиліуму, вже викликав кращі емоційні відгуки. Візуально він здавався приємнішим, аромат залишився на тому ж рівні, проте текстура стала м'якішою та більш приємною. Смакові якості теж покращилися — з'явилася частка респондентів, які оцінили його як «дуже смачний». Водночас споживча готовність до купівлі цього зразка зросла: більшість дегустаторів відповіли, що, ймовірно, придбали б такий продукт у магазині.

Найбільший інтерес викликав третій зразок, у якому частка псиліуму була найбільшою, а частину борошна та вершкового масла було замінено на волокно. Саме цей зразок отримав найвищі оцінки за всіма параметрами. Його описували як «дуже приємний на вигляд», із вираженим приємним ароматом і надзвичайно вдалою текстурою — м'якою, але водночас хрумкою. Смак печива викликав захоплення в більшості дегустаторів, і що особливо важливо — жоден з них не дав негативної оцінки. Крім того, майже половина респондентів впевнено заявила, що готова купувати саме цей варіант печива в супермаркетах.

Таким чином, додавання псиліуму не лише не погіршило смакові та структурні характеристики продукту, а навпаки — зробило його більш привабливим для потенційного споживача. Отримані результати

демонструють перспективність використання водорозчинних харчових волокон у рецептурі випічки як інгредієнтів, що здатні покращити як функціональні властивості, так і сенсорну привабливість готових виробів.

ВИСНОВКИ

1. Проведений теоретичний та експериментальний аналіз підтвердив доцільність використання водорозчинних харчових волокон як ефективного інструменту для зниження енергетичної цінності борошняних виробів. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, такі волокна, зокрема інулін, псиліум, β -глюкани, пектини, здатні частково заміщувати високоенергетичні інгредієнти (борошно, жири), не погіршуючи при цьому споживчих характеристик кінцевого продукту.

2. У процесі вивчення впливу водорозчинних харчових волокон на органолептичні показники встановлено, що їх присутність у рецептурі не лише не знижує сприйняття смаку, аромату й текстури, а у деяких випадках навіть сприяє покращенню суб'єктивного відчуття «насиченості» та «повноти» продукту, що є важливим чинником у зменшенні об'ємів споживання.

3. Результати теоретичного дослідження технологічних властивостей тіста зі збагаченням водорозчинними волокнами підкреслюють зміни в його структурно-механічних характеристиках: спостерігалось зростання вологоутримувальної здатності, підвищення в'язкості та покращення пластичності тіста. Ці зміни вимагають адаптації традиційних технологічних режимів, однак не перешкоджають успішному формуванню та випіканню виробів.

4. Оцінка ринкових перспектив функціональних борошняних виробів на основі водорозчинних волокон продемонструвала актуальність такого продукту в умовах зростання попиту на здорові, низькокалорійні продукти.

5. Запропоновано рецептуру борошняного виробу з частковим заміщенням традиційних інгредієнтів водорозчинними харчовими волокнами. Проведена порівняльна сенсорна оцінка свідчить про збереження високого рівня споживчих якостей при зниженні енергетичної цінності, що підтверджує можливість широкого впровадження подібних підходів у харчовій промисловості.

ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Соломон, А. М. Роль харчових волокон у функціональному харчуванні. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені СЗ Гжицького. Серія "Харчові технології"*. 2024. Т. 26. № 101. С. 77-83. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10112>.
2. Codex Alimentarius Commission. (2009). *Report of the 30th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses*. FAO/WHO.
3. Jones, J. M. (2014). CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the “fiber gap”. *Nutrition Journal*, 13, 34. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-34>
4. Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
5. Theander, O., Aman, P., Westerlund, E., Graham, H., & Tilly, A. C. (1994). Plant cell walls and monogastric diets. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3–4), 179–191. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90172-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90172-4)
6. Hipsley, E. H. (1953). Dietary "fibre" and pregnancy toxaemia. *British Medical Journal*, 2(4833), 420–422.
7. Asp, N. G., Schweizer, T. F., Southgate, D. A. T., & Theander, O. (1992). Dietary fibre analysis. In: *Complex Carbohydrates in Foods* (pp. 173–195). Marcel Dekker.
8. Grzelak, K. et al. (2013). *Psyllium husk as a valuable component of gluten-free bread*. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(3), 571–577.
9. Brennan, C. S., & Cleary, L. J. (2005). *The potential use of cereal (1→3,1→4)-β-d-glucans as functional food ingredients*. *Journal of Cereal Science*, 42(1), 1–13.
10. Claus, J. R., & Hunt, M. C. (1991). *Low-fat, high added-water bologna formulated with texture-modifying ingredients*. *Journal of Food Science*, 56(3), 643–647
11. Grigelmo-Miguel, N., & Martín-Belloso, O. (1999). Comparison of dietary fibre from by-products of processing fruits and greens and their use in meat products. *Food Science and Technology International*, 5(6), 443–447.
12. Brennan, C. S., & Tudorica, C. M. (2008). *Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of*

- yoghurt: comparative study of the utilisation of inulin and maltodextrin*. International Journal of Food Science & Technology, 43(5), 824–833.
13. Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2019). *Health benefits and applications of dietary fibre in foods: a review*. Journal of Food Science and Technology, 56(1), 1–13.
 14. Rodríguez-García, J., Salvador, A., & Hernando, I. (2016). *Reformulation of milk chocolate with fibers: effects on rheological, textural and sensory properties*. Food Research International, 89, 832–839.
 15. Sudha, M. L., Baskaran, V., & Leelavathi, K. (2007). *Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making*. Food Chemistry, 104(2), 686–692.
 16. Polaczek, A., Juszczak, L., & Gałkowska, D. (2021). *Effect of inulin on quality parameters of cereal bars*. LWT – Food Science and Technology, 147, 111654.
 17. Robin, F., Théoduloz, C., & Pineau, N. (2011). *Effect of dietary fibre on texture of extruded cereal products*. Food Biophysics, 6(1), 83–91.
 18. Akoh, C. C., & Decker, E. A. (1995). Lipid-based fats substitutes. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 35(5), 405–430.
 19. Grigelmo-Miguel, N., & Martín-Belloso, O. (1999). *Influence of fruit dietary fibre addition on physical and sensory properties of strawberry jams*. Journal of Food Engineering, 41(1), 13–21.
 20. Ktenioudaki, A., & Gallagher, E. (2012). *Recent advances in the development of high-fibre baked products*. Trends in Food Science & Technology, 28(1), 4–14.
 21. Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). *Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products*. Trends in Food Science & Technology, 15(3–4), 143–152.
 22. Arendt, E. K., & Dal Bello, F. (2008). *Gluten-free cereal products and beverages*. Academic Press.
 23. Slavin, J. L. (2013). Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417–1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
 24. Howarth, N. C., Saltzman, E., & Roberts, S. B. (2001). Dietary fiber and weight regulation. *Nutrition Reviews*, 59(5), 129–139. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2001.tb07001.x>
 25. Müller, M. J., Bosy-Westphal, A., & Heymsfield, S. B. (2018). Is there a metabolic difference between overweight and obesity? *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 21(6), 384–389. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000494>
 26. Wanders, A. J., van den Borne, J. J. G. C., de Graaf, C., Hulshof, T., Jonathan, M. C., Kristensen, M., ... & van der Meer, R. (2011). Effects of dietary fiber on subjective appetite, energy intake and body weight: a systematic review of randomized controlled trials. *Obesity Reviews*, 12(9), 724–739. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00895.x>

27. Canfora, E. E., Jocken, J. W., & Blaak, E. E. (2015). Short-chain fatty acids in control of body weight and insulin sensitivity. *Nature Reviews Endocrinology*, 11(10), 577–591. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2015.128>
28. Psichas, A., Sleeth, M. L., Murphy, K. G., Brooks, L., Bewick, G. A., Hanyaloglu, A. C., ... & Ghatei, M. A. (2015). The short chain fatty acid propionate stimulates GLP-1 and PYY secretion via free fatty acid receptor 2 in rodents. *International Journal of Obesity*, 39(3), 424–429. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.153>
29. Chambers, E. S., Viardot, A., Psichas, A., Morrison, D. J., Murphy, K. G., Zac-Varghese, S. E., ... & Frost, G. (2015). Effects of targeted delivery of propionate to the human colon on appetite regulation, body weight maintenance and adiposity in overweight adults. *Gut*, 64(11), 1744–1754. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307913>
30. AACC International. (2001). *The Definition of Dietary Fiber*. Report of the Dietary Fiber Definition Committee to the Board of Directors.
31. Rosell, C. M., Santos, E., & Collar, C. (2010). *Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach*. Food Research International, 43(8), 197–205.
32. Rios-Covian, D., Ruas-Madiedo, P., Margolles, A., Gueimonde, M., de los Reyes-Gavilan, C. G., & Salazar, N. (2016). Intestinal short chain fatty acids and their link with diet and human health. *Frontiers in Microbiology*, 7, 185. FAO/WHO Codex Alimentarius. (2009). *Guidelines on Nutrition Labelling*. CAC/GL 2-1985, revised 2009.
33. Canfora, E. E., Meex, R. C., Venema, K., & Blaak, E. E. (2019). Gut microbial metabolites in obesity, NAFLD and T2DM. *Nature Reviews Endocrinology*, 15(5), 261–273. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0156-z>
34. Tilg, H., & Moschen, A. R. (2014). Microbiota and diabetes: an evolving relationship. *Gut*, 63(9), 1513–1521. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-306928>
35. Zhao, L., Lou, H., Peng, Y., Chen, S., Fan, C., Wang, J., ... & Li, Y. (2020). Butyrate inhibits hepatic lipid accumulation by regulating gut microbiota and related genes. *Nutrients*, 12(10), 3116. <https://doi.org/10.3390/nu12103116>
36. Wolever, T. M. S., Gibbs, A. L., Mehling, C., Chiasson, J. L., Connelly, P. W., Josse, R. G., & Leiter, L. A. (2010). The Canadian trial of carbohydrate-reduced and high monounsaturated fat diets in type 2 diabetes: a multicenter study. *Diabetes Care*, 31(4), 633–638. <https://doi.org/10.2337/dc07-1459>
37. Jenkins, D. J. A., Kendall, C. W. C., Axelsen, M., Augustin, L. S. A., & Vuksan, V. (2002). Viscous and nonviscous fibres, nonabsorbable and low glycaemic index carbohydrates, blood lipids and coronary heart disease. *Current Opinion in Lipidology*, 13(1), 49–56. <https://doi.org/10.1097/00041433-200202000-00009>

38. Keogh, G. F., Cooper, G. J., Mulvey, T. B., McArdle, B. H., Coles, G. D., Monro, J. A., & Poppitt, S. D. (2003). Randomized controlled crossover study of the effect of a highly β -glucan-enriched barley on cardiovascular disease risk factors in mildly hypercholesterolemic men. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(4), 711–718. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.4.711>
39. Brown, L., Rosner, B., Willett, W. W., & Sacks, F. M. (1999). Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(1), 30–42. <https://doi.org/10.1093/ajcn/69.1.30>
40. Cummings, J. H., Pomare, E. W., Branch, W. J., Naylor, C. P., & Macfarlane, G. T. (1987). Short chain fatty acids in human large intestine, portal, hepatic and venous blood. *Gut*, 28(10), 1221–1227. <https://doi.org/10.1136/gut.28.10.1221>
41. Livesey, G. (1990). Energy values of unavailable carbohydrate and diets: an inquiry and analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 51(4), 617–637. <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.4.617>
42. Slavin, J. L. (2005). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 21(3), 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.08.018>
43. Wisker, E., Feldheim, W., & Kasper, H. (1994). Dietary fiber and mineral metabolism. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 17(6), 557–562.
44. Jenkins, D. J. A., et al. (2000). Effect of a very-high-fiber diet on serum lipids and gastrointestinal function in normal subjects. *The Lancet*, 356(9231), 367–370. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02567-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02567-6)
45. Cani, P. D., et al. (2007). Changes in gut microbiota control metabolic endotoxemia-induced inflammation in high-fat diet-induced obesity and diabetes in mice. *Diabetes*, 56(7), 1761–1772. <https://doi.org/10.2337/db06-1491>
46. Byrne, C. S., et al. (2015). The role of short chain fatty acids in appetite regulation and energy homeostasis. *International Journal of Obesity*, 39(9), 1331–1338. <https://doi.org/10.1038/ijo.2015.84>
47. Holt, S. H. A., Miller, J. C. B., Petocz, P., & Farmakalidis, E. (1995). A satiety index of common foods. *European Journal of Clinical Nutrition*, 49(9), 675–690. <https://www.nature.com/articles/ejcn1995119>
48. Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). *Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations*. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1033–1047.
49. Ярута, М. М. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ ТА ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ СУМІШЕЙ У ВИРОБНИЦТВІ МАФІНІВ. *Вісник студентського наукового товариства «ВАТРА» Вінницького торговельно-економічного інституту КНТЕУ. Вінниця: Редакційно-видавничий*, 386.

50. Franck, A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87(S2), S287–S291. doi:10.1079/BJN/2002542
51. Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2007). Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science*, 46(2), 101–118. doi:10.1016/j.jcs.2007.05.003
52. Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2007). *Effect of molecular size on rheological properties of β -glucans from oats and barley*. *Food Hydrocolloids*, 21(4), 401–412.
53. Cofrades, S. et al. (2000). *Textural and sensory characteristics of low-fat beef burgers with added wheat and casein fibre*. *Meat Science*, 55(4), 379–387.
54. Mohammadi-Gouraji, E. et al. (2020). *Influence of inulin on the physicochemical and sensory properties of probiotic yogurt*. *Food Science & Nutrition*, 8(2), 610–617.
55. Talukder, S. (2015). *Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a review*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 1005–1011.
56. Aryana, K. J., & McGrew, P. (2007). *Quality attributes of yogurt with added milk protein concentrates*. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2733–2737.
57. Chen, Y., Liu, C., & Zhang, H. (2020). *Application of dietary fibers in beverages: mechanisms and perspectives*. *Beverages*, 6(4), 66.
58. Pasqualone, A., et al. (2016). *Effect of inulin addition on quality and sensory properties of bread*. *Journal of Cereal Science*, 69, 138–144.
59. Tunland, B. C., & Meyer, D. (2002). *Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): their physiology and role in human health and food*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1(3), 90–109.
60. Schmiele, M., et al. (2012). Fat replacement by inulin in chicken sausage. *Food Science and Technology*, 32(1), 61–66.
61. Rodríguez-García et al. (2014). Replacing fat and sugar with inulin in biscuits: effects on physical and sensory properties. *LWT - Food Science and Technology*.
62. Roberfroid, M. B. (2005). Inulin-type fructans: functional food ingredients. *The Journal of Nutrition*.
63. Niness, K. R. (1999). *Inulin and oligofructose: What are they?*. *Journal of Nutrition*, 129(7), 1402S–1406S.
64. BeMiller, J. N., & Huber, K. C. (2010). Carbohydrates. In *Food Chemistry* (4th ed., pp. 203–273). Academic Press.
65. Ahmed, J., Ptaszek, P., & Basu, S. (2017). Food rheology: Scientific development and importance to food industry. In *Advances in food rheology and its applications* (pp. 1–4). Woodhead Publishing.

66. Keogh, G. F., Cooper, G. J., Mulvey, T. B., et al. (2011). *Randomized controlled crossover study of the effect of β -glucan-containing barley bread on cardiovascular risk markers*. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78(4), 711–718.
67. Sahin, A. W., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2020). *Latest advances in the incorporation of dietary fiber in gluten-free bakery products*. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 234–245.
68. Mariotti, M., Lucisano, M., Pagani, M. A., & Ng, P. K. (2009). *The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate, and Psyllium flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs*. *Food Research International*, 42(8), 963–975.
69. Lobato-Calleros, C., et al. (2007). *Fat replacers in low-fat yogurt: Effects on texture and sensory properties*. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 327–337.
70. Wang, L., et al. (2019). *Maillard reaction products and volatile profile in bread crust with dietary fiber*. *Food Chemistry*, 283, 150–158.
71. Matos Segura, M. E., et al. (2014). *Sensory and instrumental evaluation of aroma in gluten-free breads with fiber enrichment*. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(9), 2101–2108.
72. Mildner-Szkudlarz, S., et al. (2013). *Volatile compounds profile and sensory evaluation of bakery products enriched with dietary fibers*. *Food Chemistry*, 141(3), 2220–2230.
73. Arcia, P., et al. (2018). *Psyllium husk as a functional ingredient: Impact on flavor retention in muffins*. *LWT - Food Science and Technology*, 96, 189–195.
74. Ahmed, J., Ptaszek, P., & Basu, S. (2017). *Food rheology: Scientific development and importance to food industry*. In *Advances in food rheology and its applications* (pp. 1–4). Woodhead Publishing.
75. Rodríguez-García, J. et al. (2016). *Reformulation of chocolate with dietary fibers: Impact on sensory, rheological and structural properties*. *LWT – Food Science and Technology*, 65, 874–882.
76. Adams V, Ragae S M, Abdel-Aal E S M. (2017). *Rheological properties and bread quality of frozen yeast-dough with added wheat fiber*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 191–198.
77. Bonnand-Ducasse M, Della Valle G, Lefebvre J, Saulnier L. (2010). *Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties*. *Journal of Cereal Science*, 52, 200–206.
78. Chin N L, Martin P J. (2014). *Rheology of bread and other bakery products*. In W. Zhou Y H, Hui I, De Leyn M A, Pagani C M, Rosell J D, Selman & N, Therdtthai (Eds.), *Bakery Products Science and Technology* (pp 453- 469)
79. Fendri L B, Chaari F, Maaloul M, Kallel F, Abdelkafi L, Chaabouni S E, Ghribi- Aydi D. (2016). *Wheat bread enrichment by pea and broad bean pods fibers: Effect on dough rheology and bread quality*. *LWT - Food Science and Technology*, 73, 584–591.

80. Jiang, Y., Zhao, Y., Zhu, Y., Qin, S., Deng, Y., & Zhao, Y. (2019). Effect of dietary fiber-rich fractions on texture, thermal, water distribution, and gluten properties of frozen dough during storage. *Food Chemistry*, 297, 124902.
81. Hüttner E K, Dal Bello F, Arendt E K. (2010). *Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flours*. *Journal of Cereal Science*, 52, 65–71.
82. Iuga M, Mironeasa C, Mironeasa S. (2019). Oscillatory rheology and creep-recovery behaviour of grape seed wheat flour dough: Effect of grape seed particle size, variety and addition level. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, 76, 40–51.
83. Kaack K, Pedersen L, Laerke H N, Meyer A. (2006). New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread. *European Food Research and Technology*, 224, 199–207.
84. Effect of Flammulina velutipes Soluble Dietary Fiber on Dough Processing Characteristics and Micro-Fermented Dried Noodles Quality Properties" (<https://www.mdpi.com/2304-8158/13/17/2764>).
85. IFIC Foundation. (2021). *2021 Food and Health Survey*. International Food Information Council. <https://foodinsight.org>
86. Grand View Research. (2023). *Dietary Fibers Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Soluble, Insoluble), By Application (Food & Beverages, Pharmaceuticals), By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030*. <https://www.grandviewresearch.com>
87. Mordor Intelligence. (2023). *Soluble Dietary Fiber Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2023–2028)*. <https://www.mordorintelligence.com>
88. Innova Market Insights. (2022). *Top Ten Trends in Food and Beverage for 2022*. <https://www.innovamarketinsights.com>
89. Euromonitor International. (2022). *Health and Wellness Trends in Packaged Food*. <https://www.euromonitor.com>
90. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2010). *Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre*. *EFSA Journal*, 8(3), 1462. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1462>
91. Angioloni A, Collar C. (2011). Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high fibre breads. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 747–758.
92. Tunland, B. C., & Meyer, D. (2002). *Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): Their physiology and role in human health*

- and food*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **1**(3), 90–109.
<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2002.tb00010.x>
93. Makki, K., Deehan, E. C., Walter, J., & Bäckhed, F. (2018). *The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease*. *Cell Host & Microbe*, **23**(6), 705–715.
<https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>
 94. Lattimer, J. M., & Haub, M. D. (2010). *Effects of dietary fiber and its components on metabolic health*. *Nutrients*, **2**(12), 1266–1289.
<https://doi.org/10.3390/nu2121266>
 95. Macfarlane, G. T., & Macfarlane, S. (2012). Bacteria, colonic fermentation, and gastrointestinal health. *Journal of AOAC International*, **95**(1), 50–60.
<https://doi.org/10.1093/jaoac/95.1.50>
 96. Pereira, M. A., & Ludwig, D. S. (2001). Dietary fiber and body-weight regulation. *Pediatric Clinics of North America*, **48**(4), 969–980.
[https://doi.org/10.1016/S0031-3955\(05\)70350-6](https://doi.org/10.1016/S0031-3955(05)70350-6)
 97. Chandalia, M., et al. (2000). Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with type 2 diabetes mellitus. *New England Journal of Medicine*, **342**(19), 1392–1398. <https://doi.org/10.1056/NEJM200005113421903>
 98. Delzenne, N.M., Neyrinck, A.M., & Cani, P.D. (2013). Modulation of the gut microbiota by nutrients with prebiotic properties: consequences for host health in the context of obesity and metabolic syndrome. *Microbial Cell Factories*, **12**, 76. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-12-76>
 99. Lattimer, J.M., & Haub, M.D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, **2**(12), 1266–1289.
<https://doi.org/10.3390/nu2121266>
 100. WHO/FAO (2003). *Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases*. WHO Technical Report Series 916.