

Н.Л. Лобачова

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ
ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський національний аграрний університет

Н.Л. Лобачова

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
БЕЗГЛЮТЕНОВИХ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ**

Монографія

Суми - 2015
«Сумський національний
аграрний університет», 2015

УДК 664.644.4

ББК 36.83

Л 68

Рекомендовано до опублікування Вченою радою Сумського національного аграрного університету (протокол №1 від 27 серпня 2015 р.)

Рецензенти:

Дробот В.І. академік, доктор технічних наук, професор кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів, Національний університет харчових технологій, м. Київ;

Іоргачова К.Г. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів, Одеська національна академія харчових технологій;

Мельник О.Ю. кандидат технічних наук, доцент кафедри технології харчування, Сумський національний аграрний університет, м. Суми.

Л 68 Лобачова Н.Л.

Удосконалення технології безглютенових хлібобулочних виробів : монографія / Н. Л. Лобачова. – Суми : Сумський національний аграрний університет, 2015. – 214 с.

ISBN

У монографії висвітлені інноваційні технології безглютенових хлібобулочних виробів з використанням колагенвмісних білків та трансглютамінази для хворих з порушеним обміном білкових речовин.

Обґрунтовано доцільність сумісного застосування борошняних сумішей, трансглютамінази та колагенвмісних білків, до яких вона виявляє високу реакційну здатність (желатин, Геліос-11, Сканпро Т95). Експериментально підтверджено, що застосування добавок-коректорів структури дозволяє суттєво поліпшити питомий об'єм хліба, його пористість та смакові властивості.

Для науковців, викладачів, студентів, аспірантів та для всіх тих, хто цікавиться актуальними питаннями в галузі хлібопекарської промисловості.

УДК 664.644.4

ББК 36.83

ISBN

© Н. Л. Лобачова

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1	
Наукові основи регулювання технологічних властивостей безглютенової борошняної сировини.....	12
1.1. Целіакія як хвороба і безглютенове харчування як засіб її лікування	13
1.2. Аналіз методів підвищення технологічного потенціалу борошняної сировини	25
1.3. Досвід застосування ферментів для регулювання властивостей борошняної сировини.....	32
1.4. Перспективи та ефективність використання трансглютамінази для створення сучасних продуктів харчування.....	43
РОЗДІЛ 2	
Характеристика сировини і методологія експериментальних досліджень.....	56
2.1. Матеріали та об'єкти досліджень	56
2.2. Методи досліджень сировини, напівфабрикатів та готових виробів	59
РОЗДІЛ 3	
Обґрунтування способу поліпшення структури безглютенових хлібобулочних виробів	67
3.1. Проблема регулювання структурно-механічних властивостей безглютенового тіста як загальнонаукова системна задача.....	67
3.2. Обґрунтування складу борошняної сировини і вибір рідкої фази тіста	71
3.3. Вибір добавок регуляторів структури безглютенового тіста та хлібобулочних виробів.....	76
3.3.1. Обґрунтування виду і кількості колагенвмісних білків.....	78
3.3.2. Вивчення ефективності дії ферменту трансглютаміназа за додавання колагенвмісних білків.....	80

РОЗДІЛ 4

Вивчення перебігу основних процесів у безглютеновому тісті та стан біополімерів борошна в присутності трансглютамінази і білкових добавок.....

Вивчення перебігу основних процесів у безглютеновому тісті та стан біополімерів борошна в присутності трансглютамінази і білкових добавок.....	83
4.1. Вивчення деформаційних процесів у безглютеновому тісті.....	83
4.2. Вивчення мікробіологічних процесів у безглютеновому тісті.....	92
4.3. Визначення гідратаційних властивостей безглютенового тіста.....	101
4.4. Стан білково-протеїназного комплексу безглютенового борошняного тіста.....	108
4.4.1. Вивчення впливу добавок на конфірмаційний стан білків.....	108
4.4.2. Дослідження іонозв'язувальної здатності білків.....	115
4.4.3. Розділення білкових фракцій за молекулярними масами.....	123
4.5. Стан вуглеводно-амілазного комплексу тіста.....	125

РОЗДІЛ 5

Удосконалення технології безглютенових хлібобулочних виробів

Удосконалення технології безглютенових хлібобулочних виробів	130
5.1. Обґрунтування способу введення добавок.....	131
5.2. Обґрунтування режимів тістоведення	134
5.3. Вивчення впливу рецептурних компонентів на якість безглютенового тіста та готових виробів.....	140
5.4. Оптимізація технологічних режимів виробництва безглютенової хлібопекарської продукції.....	142
5.5. Технологічна схема та апаратурне оформлення технології безглютенового хліба.....	145
5.6. Кваліметрична оцінка якості безглютенових виробів.....	149
5.7. Застосування елементів системи НАССР при розробці технологій безглютенових хлібобулочних виробів.....	157
5.8. Визначення стійкості нової безглютенової хлібопекарської продукції під час зберігання.....	159

РОЗДІЛ 6

Ефективність впровадження, практичне та соціальне значення наукової розробки.....	164
6.1. Економічна ефективність наукової розробки.....	164
6.2. Практичне значення результатів роботи.....	165
6.3. Соціальне значення наукової розробки.....	166
6.4. Розрахунок очікуваних економічних показників хлібопекарського підприємства у разі виробництва безглютенових хлібобулочних виробів.....	167
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	179
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	182
ДОДАТКИ	207

ВСТУП

Історичний зв'язок пшениці і людства є нерозривним і життєво необхідним, проте, для хворих на целиацію людей його вживання є неприпустимим. За останні 30...40 років уявлення про поширеність цього захворювання істотно змінилися в бік значного збільшення. За оцінкою Всесвітньої асоціації гастроентерологів на целиацію страждає близько 1% населення Землі. За підрахунками Всеукраїнського товариства целиакії, лише в Києві тепер проживає близько 30 тис. хворих на целиацію, а виявлено – в десять разів менше. Лікування целиакії можливе виключно через суворе дієтичне харчування з виключенням навіть мікродоз глютену.

Створенню науково-практичних засад виробництва безглютенових харчових продуктів присвячені праці вітчизняних та зарубіжних вчених: В.І. Дробот, А.М. Дорохович, О.М. Шаніної, Е. Gallagher, Е.К. Arendt, J.L. Casper, W.A. Atwell, Е.І. Hoffenberg, J. Haas, М.М. Mor та ін. Особливу увагу приділяють хлібопекарській продукції, яка є найбільш повсякденно вживаною і виступає головним джерелом глютену, бо включає пшеничне борошно як основний сировинний ресурс.

Збільшення числа випадків захворювань, пов'язаних з порушенням обміну речовин і виникненням алергій на компоненти харчових продуктів, спричинено спадковістю, погіршенням стану довкілля, нераціональним харчуванням. Особливо небезпечні та складні у лікуванні порушення обміну білкових речовин, що проявляються у погіршенні функціонування органів травлення і нирок, розладах центральної нервової системи, затримці фізичного розвитку. Одним з таких захворювань є целиакія. За цього захворювання порушується засвоєння поживних речовин у тонкому кишечнику. За даними ВООЗ, на целиацію страждає близько 1 % населення земної кулі. Хворі на целиацію зареєстровані в Україні.

Профілактика та лікування цього захворювання полягає, перш за все, у дотриманні спеціальних дієт. Це безглютенові або безбілкові дієти, в яких білок не містить гліадину, адже саме гліадин спричиняє виникнення алергічних реакцій у хворих на целиакію. Раціон харчування цих хворих дуже обмежений. Традиційні хлібобулочні вироби їм протипоказані, оскільки білки таких виробів містять гліадин.

Розширити асортимент продуктів харчування хворих на целиакію можна лише виготовленням безглютенової продукції. Розробленню і впровадженню виробів з безглютеновим білком багато уваги приділяють закордонні науковці.

В Україні дослідження щодо технології безглютенового хліба не проводилися. На цей час потреби населення в безглютенових продуктах забезпечуються за рахунок продукції іноземних фірм. До рецептур цих виробів включають сировину, яка не містить глютену: безглютенові види борошна, молочні та яєчні продукти, продукти переробки сої. Поряд з готовою продукцією, в Україну постачаються суміші для домашнього приготування хлібобулочних, кондитерських і макаронних виробів.

На цей час в Україні безглютеновий хліб не виробляють. Виготовляють невелику кількість хліба з низьким вмістом білка, але до його рецептури входить житнє борошно, що робить неможливим вживання цього хліба хворими на целиакію.

Таким чином, актуальним і своєчасним завданням є розробка технології безглютенового хліба з метою забезпечення дієтичним хлібом хворих на целиакію.

Використання безклейковинного борошна в хлібопеченні викликає низку технологічних проблем і потребує різноманітних допоміжних засобів для виконання функцій глютену. Оскільки заміна пшеничного борошна на безглютенове у співвідношенні «один до одного» неможлива, додатково застосовують різні види нативних крохмалів, безглютенового борошна і гідроколоїдів, білків, ферментних препаратів. Трансглютаміназа – відносно новий засіб, що використовується в процесі виробництва хлібобулочних виробів. Цей фермент може змі-

нювати протеїни за рахунок утворення поперечних зв'язків, що у виробництві безглютенових хлібобулочних виробів призводить до збільшення об'єму, поліпшення текстури та збільшення терміну зберігання хліба. Проте, залишаються актуальними наступні невирішені технологічні та комерційні питання виробництва і споживання безглютенового хліба: необхідність суттєвого поліпшення структури виробів; виявлення механізмів впливу ферменту трансглютаміназа на білки рослинного та тваринного походження, а також на їх суміші.

Тому пошук додаткових білкових джерел, здатних підвищити ефективність дії трансглютамінази та удосконалення і розробка новітніх технологій безглютенової хлібопекарської продукції є актуальною та своєчасною науковою проблемою для вітчизняної та світової зернопереробної галузі. Нами запропоновано застосовувати добавки, які за походженням є тваринними білками, що отримують з колагенвмісної м'ясної сировини, а саме – найбільш розповсюджений і добре відомий в нашій країні желатин, доступний за ціною і розповсюджений в країнах ЄС Сканпро Т95 та вітчизняний Геліос-11.

Метою є наукове обґрунтування і розробка інноваційної технології безглютенової хлібобулочної продукції на основі борошняної суміші шляхом використання в якості структуроутворювачів білкових добавок разом з ферментом трансглютаміназа.

Для досягнення поставленої мети сформульовано і вирішено такі задачі:

- систематизовано емпіричну базу даних по регулюванню технологічних властивостей борошняної сировини, перспектив застосування ферментних препаратів разом з додатковими джерелами білка для обґрунтування технології безглютенової хлібопекарської продукції;
- встановлено оптимальне співвідношення складових безглютенових борошняних сумішей, обґрунтувати вид рідкої фази тіста, що забезпечує високі органолептичні властивості безглютенової хлібопекарської продукції;
- науково обґрунтовано доцільність використання трансглютамінази сумісно з колагенвмісними білками (КВБ) в якості структуроутворювачів безглютенового тіста; визначено раціональні концентрації трансглютамінази і тваринних білків;

- досліджено вплив трансглютамінази і колагенвмісних білків на перебіг основних процесів (деформаційних, мікробіологічних і гідратаційних) у безглютеновому тісті під час виробництва хлібобулочних виробів;
- встановлено вплив ферменту трансглютаміназа разом з колагенвмісними білками на стан біополімерів безглютенового борошна та тіста;
- обґрунтовано спосіб введення добавок, режими тістоведення і вплив рецептурних компонентів на якість безглютенових хлібобулочних виробів під час виробництва;
- проведено оптимізацію технологічних режимів виробництва безглютенових хлібобулочних виробів, визначено показники безпеки, запроваджено елементи НАССР та проведено кваліметричну оцінку його якості;
- проведено комплекс робіт по розробці нормативної документації, впровадженню нових технологій та визначенню економічної ефективності виробництва безглютенової хлібопекарської продукції.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень доведено ефективність використання безглютенової борошняної суміші сумісно з трансглютаміназою та білковими добавками тваринного походження в якості структуроутворювачів для підвищення якості безглютенової хлібопекарської продукції та науково обґрунтовано їх позитивний вплив на основні складові борошна та тіста.

Вперше встановлено:

- ефективність сумісного застосування трансглютамінази та колагенвмісних білків, що зумовлює посилення пружно-еластичних та зниження пластичних властивостей, зниження міцності адгезії тіста на основі безглютенової борошняної суміші. Рекомендована кількість білкових добавок – 1...2% до маси борошна; ферменту трансглютаміназа – 0,05...0,10% до маси борошна;
- закономірності взаємодії колагенвмісних білків в присутності трансглютамінази збілковими речовинами безглютенового борошна та тіста, які виявляються у зростанні інтенсивності коливань груп СН- та СОО-, скелетних коливань бокових ланцюгів білкової макромолекули;

– зміни нативної конформації макромолекул білків, що підтверджуються здатністю білків зв'язувати іони H^+ та OH^- та утворенням структури зі значною гетерогенністю за молекулярною масою;

– зниження в'язкості водно-борошняних суспензій та зменшення тривалості процесу клейстеризації в присутності добавок колагенвмісних білків та трансглютамінази;

– посилення вологоутримувальної здатності безглютенового тіста в присутності колагенвмісних білків та трансглютамінази.

Набули подальшого розвитку:

– закономірності зміни властивостей безглютенового тіста з борошняної суміші при внесенні трансглютамінази;

– дані щодо формування якості безглютенового хліба на основі борошняної суміші під час виробництва та зберігання продукції.

РОЗДІЛ 1

НАУКОВІ ОСНОВИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕЗГЛЮТЕНОВОЇ БОРОШНЯНОЇ СИРОВИНИ

Сучасне харчове виробництво – система, яка динамічно розвивається, а її функціонування пов'язане з вирішенням низки загальногалузових завдань:

- створення продукції, що відповідає підвищеним вимогам споживачів до якості та асортименту продукту при збереженні прийнятної вартості;
- удосконалення технології виробництва традиційних і нових виробів;
- запровадження прогресивних ресурсозберігаючих технологій з метою виробництва конкурентоспроможної продукції;
- створення нових видів виробів, що відповідають сучасним вимогам науки про харчування та ін.

Сьогодні відбувається оновлення мислення і переоцінка цінностей. Наразі актуалізовані напрями ефективного використання сировини, залучення надсучасних знань у харчовій сфері, сучасних методів впливу на харчові інгредієнти. Колись великий Гіппократ вчив: «Ваша їжа має бути ліками, а ваші ліки мають бути їжею». Для нас сучасними стають добре відомі і перевірені часом підходи – їжа повинна виконувати профілактичну, оздоровчу і лікувальну функції.

Нижченаведений аналіз та узагальнення наукової інформації стосуються дієтологічних та технологічних підходів до створення хлібопекарської продукції для хворих на целіакію і дозволяють чітко сформулювати мету дослідження і науково обґрунтувати напрями експериментальних робіт щодо удосконалення технологічних властивостей безглютенової борошняної сировини.

1.1. Целіакія як хвороба і безглютенове харчування як засіб її лікування

Споживання глютену і споріднених протеїнів може викликати глютену ентеропатію в людей із певною генетичною схильністю. Це захворювання відомо як целіакія- (глютеніова ентеропатія, глютеніова хвороба, ідіопатична стеаторея) — захворювання тонкої кишки, що характеризується непереносимістю білка злакових рослин гліадину внаслідок уродженого дефіциту ферменту, що його розщеплює, і проявляється синдромом мальабсорбції у зв'язку з розвитком гіперрегенеративної атрофії слизової оболонки тонкої кишки в осіб, генетично схильних до цього захворювання.

Уперше хвороба була описана ще в I ст. Н.Л. Aretaios Kappadozien і Aurelian, які назвали її "Morbus coeliacus". У 1880 р. англієць Р. Manson описав хворобу, яка характеризувалася тривалими діареями, виснаженням і афтозним ураженням слизової оболонки порожнини рота, і назвав її "тропічна спора" (вперше термін "спору" запропонував V. Ketelaer ще в 1669 р.). Детальний опис целіакії у дітей опублікував у 1888 р. англійський лікар S.J.Gee. У 1908 р. американець Ch.A. Herter назвав захворювання у дітей "інтестинальним інфантилізмом", а в 1909 р. у Німеччині O.J.I. Heubner зв'язав причину хвороби з тяжкою недостатністю травлення. З того часу целіакію у дітей називають ще хворобою Гі – Гертера - Гейбнера. У 1950 р. голландський педіатр K. Dicke вперше зв'язав причину целіакії у дітей з глютеніом, а в 1952 р. G. Mcsveri і J. French вперше успішно застосували аглутеніову дієту для лікування цього захворювання. Целіакія успадковується за аутосомно-домінантним типом, інакше кажучи – це вроджене захворювання. Хвороба вражає обидві статі і може початися в будь-якому віці. Для початку хвороби необхідні дві складові: генетична схильність (є два специфічних генетичних маркери HLA-DQ2 і HLA-DQ8), і щось на зразок спускового механізму («тригер»). Таким механізмом може стати будь-який зовнішній фактор – надмірне споживання пшениці, серйозний емоційний стрес, вагітність, вірусна інфекція та ін.

Розвиток целіакії зумовлений певними патогенетичними механізмами. Через дефіцит специфічних ферментів, зокрема амінопептидаз, що певним чином пов'язано з дефектом мембран ентероцитів, у кишках не відбувається повного розщеплювання глютену, до складу якого входить токсична речовина L-гліадин. Продукти недостатнього розщеплювання глютену, низькомолекулярні кислі поліпептидази і, насамперед, L-гліадин токсично впливають на тонку кишку, ушкоджуючи її слизову оболонку.

Гліадинова фракція разом з багатьма проміжними продуктами гідролізу білків гальмує початкові стадії порожнинного травлення, будучи інгібітором порожнинних гідролаз.

Важливу роль у патогенезі целіакії відіграє фермент трансглютаміназа, субстратом для неї є гліадин, до якого утворюються ендомізіальні антитіла. За певних умов тканинна трансглютаміназа може утворювати з гліадином специфічні комплекси, які є пусковим чинником у розвитку целіакії. У разі вродженої (первинної) целіакії метаболічний дефект виявляється відразу після переходу від грудного вигодовування до загального харчування (первинна целіакія у дітей) або дефект перебуває в прихованому стані, але під впливом несприятливих чинників зовнішнього середовища (порушення харчування, кишкові інфекції та інші ще невідомі причини) проявляється типовою клінічною картиною (первинна целіакія у дорослих). Набута (вторинна) целіакія виникає не стільки на ґрунті спадкового метаболічного дефекту (хоча його повністю не можна виключити), скільки через пряму дію інфекційного, токсичного, алергічного або іншого агента, який призводить до розвитку атрофії слизової оболонки тонкої кишки і тим самим — до зниження активності кишкових ферментів, у тому числі і пептидаз, відповідальних за гідроліз гліадину.

Зміна структури слизової оболонки тонкої кишки при целіакії відбувається в декілька етапів. Спочатку розвивається набряк слизової оболонки та інфільтрація її лімфоцитами і плазматичними клітинами, потім — порушення структури глікокаліксу, укорочення ворсинок і зменшення їх числа, що супроводжується зниженням площі епітеліальної поверхні кишки. Надалі разом з атро-

фією ворсинок настає атрофія крипталного шару. Усе це призводить до зменшення синтезу деяких кишкових ферментів, відповідальних за гідроліз білків, жирів, вуглеводів, і порушення процесу всмоктування (мальабсорбції).

Водночас із порушенням перетравлення їжі і всмоктування в патогенезі діареї при целиакії мають значення зниження секреції панкреатичних ферментів, асинхронність надходження їх у просвіт кишки, дефіцит жовчних кислот у період травлення, викид застійної жовчі у позатравний період, наявність жовчних кислот з довгим вуглецевим ланцюгом, неабсорбованих у тонкій кишці, бактеріальне обсіменіння тонкої кишки, порушення вироблення холецистокініну-панкреозиміну слизовою оболонкою тонкої кишки.

Згідно з імунологічною теорією, харчові протеїни злакових оцінюються імунною системою як патологічні антигени. Відомо, що на ентероцитах хворих на целиакію підвищена експресія генів HLA 2-го класу DR, DP і DQ, здатних трансформуватись у клітинах, які набувають антигенних властивостей. Глютен і його метаболіти можуть провокувати імунологічні реакції в тонкій кишці (утворення імунних комплексів, цитотоксична дія лімфоцитів тощо), ушкоджують слизову оболонку. Однак і клітинні, і гуморальні зрушення імунітету при целиакії не є дуже специфічними. Морфологічні зміни слизової оболонки тонкої кишки характеризуються тотальною і субтотальною атрофією ворсинок і гіперплазією крипт. Поверхня слизової оболонки тонкої кишки згладжена і позбавлена ворсинок, довжина крипт збільшена. Виявляються виражені дегенеративні зміни епітеліальних кліток, особливо ентероцитів. Значно збільшується вміст лімфоцитів і плазматичних клітин.

При електронно-мікроскопічному дослідженні ентероцитів у хворих на целиакію виявляють порушення зв'язків між ними, що призводить до підвищеної проникності мембрани для антигенів. Це пов'язано зі зниженою активністю білка-регулятора. Крім того, виявляють укорочення ворсинок та зміну їхньої будови і кількості.

Характерною особливістю гіперрегенеративної атрофії у хворих на целиакію є здатність до відновлення структури після виключення глютену з харчово-

го раціону. Завдяки тривалому лікуванню аглютенною дієтою відновлюється нормальна будова слизової оболонки, покращується всмоктування і більшість хворих одужують.

При гістохімічному дослідженні виявляють ензиматичний дефіцит, який стосується переважно аденозинфосфатази, 5-нуклеотидази, глюкозо-6-фосфатази, моноаміноксидази, лейцинамінопептидази і лактази. Кисла фосфатаза, неспецифічні естерази і альфа-глюкозидази залучені до цього процесу меншою мірою. Активність лужної фосфатази нормальна. При гістоімунологічному дослідженні виявляють збільшену кількість імуноглобуліну (Ig) A і M, а в кишковому соку — високий рівень IgM.

Відкриття в 1971 р. антиретикулінових антитіл дозволило опрацювати серологічні маркери целиакії:

- 1) антиретикулінові антитіла класів IgA і IgG (IgAARA, IgGARA);
- 2) антигліадинові антитіла класів IgA і IgG (IgA AGA, IgGAGA);
- 3) антитіла до ендомізіну непосмугованих м'язів класів IgA і IgG (IgA Em AA, IgGEmA);
- 4) антитіла до тканинної трансглютамінази класів IgA і IgG (IgA At TGA, IgG At TGA).

У практичній роботі найчастіше використовують визначення IgAEmAA і IgGEmA (чутливість 89%, специфічність 100%), IgAAtTGA і IgGAtTGA (чутливість 100%, специфічність 98,8%).

Для детального і порівняльного опису мікроскопічного дослідження слизової оболонки тонкої кишки у хворих на целиакію використовують класифікацію N.M.Marsh і P.T.Crowe (1995), згідно з якою виділяють 5 типів змін в ентероцитах:

I тип (інфільтративний) - збережена нормальна структура ворсинок і більшості крипт, відзначається лише ендотеліальний лімфоцитарний інфільтрат (понад 40 ендотеліальних лімфоцитів на 100 епітеліальних клітин).

II тип (гіперпластичний) - до набрякових змін долучаються гіпертрофія крипт.

III тип (деструктивний) - залежно від ушкодження ворсинок виділяють три підтипи зі збільшеною кількістю ендотеліальних лімфоцитів (понад 40 на 100 епітеліальних клітин):

- III а — незначне вкорочення ворсинок і подовження крипт;
- III в — значне вкорочення ворсинок і збільшення висоти крипт;
- III с — плоска слизова оболонка (без ворсинок) і збільшення висоти крипт.

IV тип (гіпопластично-атрофічний) — характеризується плоскою слизовою оболонкою з нормальною висотою крипт або нормальною кількістю ендотеліальних лімфоцитів.

0 тип (передінфільтративний).

Захворювання починається в ранньому віці, коли до раціону включають продукти, виготовлені з пшениці, жита, ячменю, вівса (наприклад, манна, вівсяна каша та ін.). Далі за відсутності лікування симптоми целиакії посилюються в період дитинства, а в юності зменшуються, однак у віці 30—40 років поновлюються. Симптоми захворювання можуть бути слабо виражені, тому захворювання в дитячому і юнацькому віці не розпізнається і діагноз вперше встановлюють тільки в середньому або похилому віці.

Виділяють кілька клінічних форм, або варіантів, целиакії.

Типова форма розвивається в ранньому дитячому віці і характеризується діареєю з поліфекалією і стеатореєю, анемією, порушенням обміну, властивими синдрому порушеного всмоктування, і спостерігається в 40% хворих. Клінічні прояви типового варіанта целиакії залежать також від тяжкості перебігу. Виділяють легку, середньої тяжкості і тяжку форми захворювання.

Легка форма перебігає без яскраво вираженої клінічної симптоматики. Її перші ознаки з'являються найчастіше в 30—40-річному віці. Хворі скаржаться на біль, який періодично виникає в навколупупкової ділянці і лівому підребер'ї, здуття і бурчання в животі. Клінічні ознаки нерідко виникають через порушення харчового режиму, особливо в разі надмірного вживання вуглеводів. Під час пальпації живота виникає невелика болючість навколо пупка. Усмоктування в

тонкій кишці порушене помірно. На рентгенограмі рельєф її слизової оболонки нормальний або трохи змінений. У хворих з таким перебігом целіакії помилково діагностують інші захворювання органів травлення: хронічний гастрит із секреторною недостатністю, хронічний панкреатит з зовнішньо- секреторною недостатністю, хвороби біліарної системи тощо.

Целіакія середнього ступеня тяжкості має хвилеподібний перебіг. Її перші ознаки вдається виявити в ранньому дитячому віці: схильність до проносів, деяке відставання в розвитку, схуднення. У фазу загострення турбує біль помірної інтенсивності навколо пупка, зниження апетиту, здуття живота, особливо після їжі, бурчання. При об'єктивному дослідженні знаходять заїди (ангуліт), афти, глосит, живіт роздутий, болючий по ходу тонкої кишки; часто при цьому спостерігається судинна гіпотензія. У ході лабораторно-функціонального обстеження виявляють порушення тонкокишкового травлення і всмоктування. Навантаження глюкозою не призводить до збільшення її концентрації в крові, зменшено виділення d-ксилози із сечею, не засвоюється до 50% спожитого жиру. Через порушення всмоктування заліза і вітамінів нерідко розвивається залізодефіцитна або змішана анемія. У період ремісії анемія може бути єдиним проявом хвороби, тому нерідко її трактують як самостійне захворювання.

Тяжка форма целіакії перебігає з яскраво вираженими ознаками ендогенної аліментарної дистрофії. В окремих осіб, які страждають на кишкові розлади з дитинства, дистрофія досягає ступеня кахексії. Хворі значно втрачають апетит, масу тіла (до 15-30 кг), у них з'являються різка слабкість, трофічні зміни шкіри (як у хворих на пелагру), остеопороз, залізодефіцитна, вітамін В2 - дефіцитна і змішана анемії, язик гладенький, блискучий, із згладженими сосочками; спостерігають заїди, афти. Характерні плюригландулярна ендокринна недостатність, втрата лібідо, імпотенція, аменорея, значна судинна гіпотензія. Проявом тривалої целіакії може бути гіпоспленізм з вираженими порушеннями імунітету і септицемією. Можливі гіпопротеїнемічні набряки і пролежні.

Основним методом лікування хворих на целіакію є суворе дотримання аглютенної дієти, до якої не входять продукти, виготовлені з борошна і зерен

пшениці, жита, ячменю, вівса і проса. На все життя з раціону виключають хліб і хлібобулочні вироби, манну, пшоняну, перлову і пшеничну крупи. Замість них дозволяються рис, гречка, кукурудза, картопля, соя, саго. Рекомендується їжа, багата на білки (м'ясо, риба, сир, боби), вітаміни (фрукти й овочі) з деяким обмеженням жиру. Молоко і молочні продукти виключають, оскільки целіакія часто супроводжується гіполактазією. Використовують свіжий кисломолочний сир у натуральному вигляді і у виробах, масло вершкове. З овочів рекомендують картоплю, моркву, цвітну капусту, гарбуз, кабачки, зелений горошок. Каші готують на воді або м'ясному бульйоні, яйця варять некруто, омлети; киселі і компоти — із солодких сортів ягід і фруктів (яблука, груші, чорниця, суниця, малина, айва).

Отже, у хворих на целіакію не виробляються ферменти, що розщеплюють один із компонентів глютену до амінокислот, через що в організмі накопичуються продукти його неповного гідролізу. Ці речовини пошкоджують слизову оболонку кишечника і ворсинки (сосочки) на його стінках атрофуються. Зрозуміло, що порушується всмоктування поживних речовин, у тому числі й тих, які даний організм у змозі розщепити і підготувати для всмоктування [1] (рис.1.1).

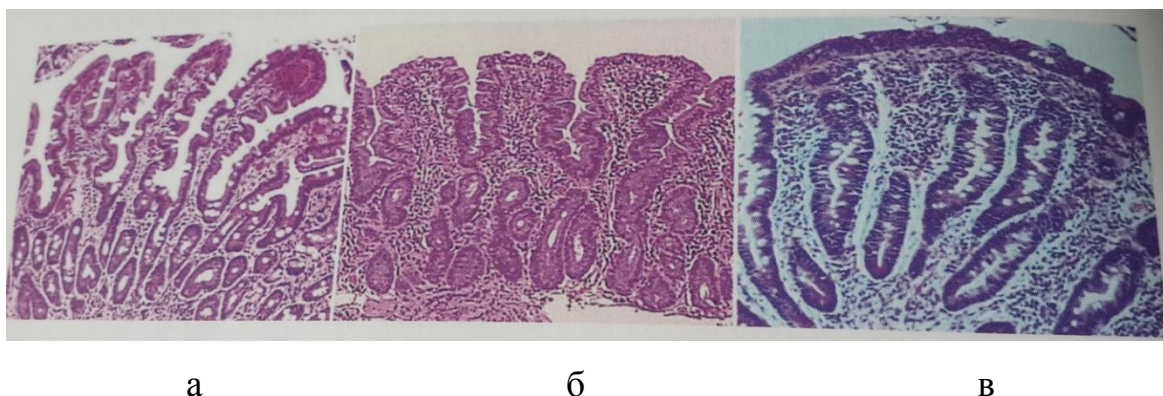


Рис.1.1. Стан слизової оболонки кишечника: а — нормальний; б — частково зруйнований або атрофований; в — повністю атрофований у хворого на целіакію

Донедавна целіакію вважали вкрай рідкісною хворобою. Однак, у 80-90-х роках минулого століття з'явилися нові методи діагностики целіакії — визначення в сироватці крові специфічних антитіл. Результати виявилися вражаючими:

частота випадків целиакії в ряді європейських країн у сотні разів вища, ніж вважали раніше [4]. При цьому гострі шлунково-кишкові симптоми в деяких людей, уражених целиакією, можуть бути відсутні.

З'ясувалося, що целиакія проявляється у трьох формах: активній, неактивній і прихованій (латентній). При активній формі людина страждає від нездужання. Неактивна целиакія протікає без симптомів, хворобу виявляють випадково під час обстеження. При прихованій формі аналіз крові вказує на целиакію, а біопсія – ні.

У класичному варіанті типова целиакія спостерігається в дітей раннього віку і проявляється через діарею, збільшений живіт, затримку темпів фізичного розвитку. Атипова форма характеризується перевагою некишкових проявів (наприклад, анемії, остеопорозу, ендокринних патологій, безпліддя та ін.). При цьому з боку шлунково-кишкового тракту порушення можуть бути незначними, що ускладнює діагностування хвороби. У разі тривалого нерозпізнання целиакії підвищується ризик виникнення пухлин кишково-шлункового тракту, цукрового діабету, цирозу печінки та ін.[1, 2].

Є й інше пояснення почастищення випадків целиакії. Останнім часом у світі зросло споживання пшениці, а разом з ним – частота контактів споживачів із глютенем. Він присутній у багатьох напівфабрикатах, міститься у ковбасі і навіть у йогуртах (як загусник) [1].

Для характеристики стану, у якому присутня хронічна реакція на глютен, застосовують різні терміни – целиакія (celiac disease), глютеніна ентевропатія (nontropical sprue), черевний синдром мальабсорбції (celiacs prue), ентевропатична непереносимість глютену (glutenin tolerant enteropathy), ентевропатична чутливість до глютену (gluten sensitive enteropathy). Відокремлювальні особливості протікання целиакії, алергії на глютен та непереносимості глютену наведені в табл.1.1. Слід зазначити, що в поняття «глютен» різні вчені вкладають різне значення. У харчовій науці фахівці розуміють глютен як функціональну комбінацію двох специфічних типів білка – глютенін (глютелін) і гліадин (проламін).

Медична громадськість, навпаки, визначає глютен як проламін, фракцію з білка пшениці, жита та ячменю [1].

Міститься глютен у низці зернових: пшениці, житі, ячмені, а також у всіх ботанічних різновидах і формах пшениці (спельті, камуті, фарро, дурум, семо-ліні, булгурі, кускусі), тритікале, айнкорне [3, 4]. Небезпечний не сам глютен, а деякі амінокислоти, пов'язані між собою в певному порядку, які виходять при розщепленні глютену у процесі травлення.

Таблиця 1.1

Відокремлювальні особливості протікання целиакії, алергії на глютен та непереносимості глютену

Ознаки	Целиакія	Алергія на глютен	Непереносимість глютену
Фактори, що провокують реакцію	Білки гліадин і глютенін	Білок або хімічні речовини в продуктах	Білки, вуглеводи, хімічні речовини у продуктах
Вид реакції	Імунна, а також аутоімунна Реакція	Характерна імунна реакція	Реакція неімунна або аутоімунна. У середньому реакція проявляється на 4-5 продуктів
Швидкість реакції	Уповільнена (від тижнів до років)	Швидка (від хвилин до годин)	Уповільнена (від годин до днів). Складно обумовлена. Не до кінця зрозуміла
Ступінь небезпеки	Руйнування кишечника	Анафілаксія (потенційно смертельно небезпечна)	Не призводить до руйнування кишечника або до летального результату

Як відомо, пшеничні білки поділяють на чотири основні групи – альбуміни, глобуліни, проламіни та глютеліни. Термін «проламіни» пов'язаний з тим, що всі білки цієї групи під час гідролізу утворюють значну кількість гетероциклічної амінокислоти проліну. Глутени – це фракції проламінів та глютелінів. Проламін пшениці отримав назву гліадин, ячменю – гордеїн, жита – секалін, вівса – авенін. Генетичний зв'язок між глютенвмісними зерновими та іншими зерновими наведено на рис.1.2. Токсичними для хворих на целиакію є проламіни пшениці, ячменю, жита. Питання про токсичність авеніну вівса наразі залишається відкритим, хоча до складу продуктів, представлених на світовому ринку для хворих на целиакію, овес часто не входить [3, 4].

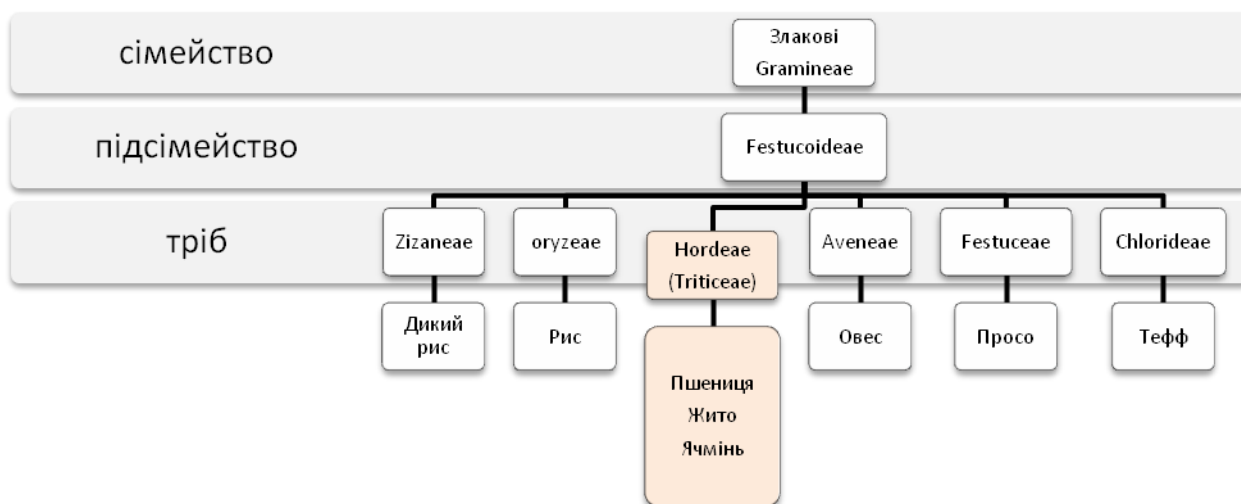


Рис.1.2. Генетичний зв'язок між глютенотвірними та іншими зерновими [1]

Якщо в організм хворого на целиацію потрапляють протеїни пшениці чи родинні їм протеїни (гордеїн ячміню або секалін жита), у тонкій кишці виникає імунологічна реакція, при якій руйнуються клітини кишкового епітелію. Продукти з глютенотвірними викликають у хворого пронос, здуття живота, болі, блювоту. Пошкоджений кишечник не в змозі засвоювати вітаміни, тому може розвинути-ся авітаміноз.

Лікують целиацію виключно дієтою. Непереносимість глютену при цьому залишається, зате самопочуття поліпшується, симптоми зникають. Тобто потріб-но чітко недопущення продуктів, які містять клейковину (жито, ячмінь, а та-кож тверді сорти пшениці, полба, камут, тритікале, іноді рекомендують відмо-витися і від вівса).

Пшениця є одним із основних інгредієнтівпри виробництві більшості хлі-бобулочних виробів. При виробництві продуктів харчування без вмісту глюте-ну виникають серйозні труднощі щодо створення структури продукту, подібної тій, до якої звикли споживачі – пористої, пружно-еластичної. Відсутність пше-ничного борошна як стратегічно важливого та структуроутворюючого сир-винного компоненту призводить до виникнення низки специфічних проблем – і для виробників безглютенової продукції, і для її споживачів. Зазвичай структу-ра продуктів є крихкою, дуже сухою. Більшість видів дріжджових виробів пе-

ред вживанням необхідно розігрівати. До того ж, безглютенові продукти мають низьку якість внаслідок погіршення смаку [6, 7, 8, 9].

Справа в тому, що клейковина пшеничного борошна (глютен) володіє унікальними технологічними властивостями, які відіграють найважливішу роль у формуванні структурно-механічних властивостей борошняного тіста та текстури готових виробів. Гліадин пшениці (проламіни) несе відповідальність за зв'язаність тіста, глютенін (глютеліни) – за опір тіста розтягуванню. Поєднання цих двох білків надає тісту унікальних в'язко-пружних властивостей і здатність утримувати газ. Такими властивостями не володіють інші білки борошна. Після гідратації і перемішування білки безклейковинних сортів борошна не розвиваються у в'язко-пружну мережу, як протеїни пшениці.

Тому для виконання різних технологічних функцій у процесі виробництва продуктів із дріжджового тіста необхідна певна кількість інгредієнтів, здатних його замінити. Більшість видів безглютенових продуктів, існуючих сьогодні, виробляються на основі пшеничного крохмалю. Проте, на нашу думку, ця сировина може містити залишкову кількість глютену. Тому ефективною можна вважати таку безглютенову сировину, як, наприклад, борошно кукурудзяне, соєве, гречане і рисове, крохмаль картопляний тощо.

При створенні виробів із безклейковинного борошна критичним чинником є вологість тіста. За низького вмісту вологи виріб має щільну структуру, за високого – добре піднімається, проте «сідає» під час випікання [1, 9].

З точки зору фундаментального механізму безглютенового тістоутворення, кількість води має бути достатньою для гідратації всіх компонентів і забезпечення певного рівня в'язкості, необхідного для утримання газу в тісті.

Слід зазначити, що проблем із газоутворенням у безглютеновому тісті практично не існує; труднощі виникають зі збереженням його в тісті [1].

Інший важливий аспект, який впливає на газоутримувальну здатність безглютенового тіста, базується на тому, що пухирці газу «гідрофобні», а тісто дуже «гідрофільне». Це зумовлює доцільність застосування поверхнево-активних речовин в якості рецептурних компонентів.

Загалом, проблема формування структури тіста виникає переважно у хлібопекарському виробництві і практично відсутня у виробництві борошняних кондитерських виробів[10, 11].

З метою розроблення технологій здобного безглютенового печива вітчизняними дослідниками наукової школи проф. А.М. Дорохович [10, 11] запропоновано застосовувати гречане, кукурудзяне та рисове борошно. Встановлено, що печиво, яке виробляють із рису, крохмалю, кукурудзи, сої із жировмісними порошками (сухі вершки, сухе молоко з високим і низьким вмістом жиру), за якістю ідентичне традиційному печиву. Науковцями цієї школи розроблені технології безглютенового печива на основі цукрози, фруктози, глюкози, безглютенових маффінів тощо [11]. Узагальнюючи вищевикладене, можна зазначити, що всесвітнє поширення целіакії і відсутність безглютенової продукції високої якості посилюють інтерес дослідників до розробки технологій продукції, у тому числі хлібних, борошняних кондитерських і кулінарних виробів – як у світі [12, 13, 14, 15, 16, 17], так і в нашій країні, зокрема дослідників наукової школи акад. В.І.Дробот [18, 19].

Найбільші технологічні проблеми виникають саме у хлібопекарському виробництві. Саме хліб є найбільш вживаним продуктом щоденного харчування, що значно посилює вимоги до його якості.

Для підвищення технологічного потенціалу безглютенових видів борошна як сировини хлібопекарського виробництва необхідним є всебічний аналіз досвіду регулювання технологічних властивостей різної борошняної сировини, наведений у наступному підрозділі.

1.2. Аналіз методів підвищення технологічного потенціалу борошняної сировини

Технологічний потенціал борошна формується на основі технологічних переваг зерна під час його вирощування та переробки на борошномельних під-

приємствах, а виявляється – у споживчих і технологічних властивостях борошна при застосуванні в борошнопереробних галузях та на підприємствах харчування. Регулювання технологічних властивостей борошняної сировини є доцільним і прийнятним на будь-якому з цих етапів.

На етапі гідротермічної обробки зерна можна суттєво підвищити біологічну цінність борошна, особливо вищого сорту, який потребує такого підвищення більше за всі інші. Досягнення оптимальної вологості зерна можна регулювати тривалістю відволоження та пропарювання, температурою нагріву, створюючи умови, за яких життєдіяльність зародка і клітин алейронового шару зерна максимально активізуються [20, 21]. Завдяки раціональним режимам водно-теплової обробки зерна або борошна з'являється можливість формування нових технологічних властивостей продукту. Так, термообробці за спеціальних режимів піддають кукурудзяне борошно [22]; отримують гранульований продукт із частково желатинованого рисового борошна [23]. Для виробництва інстантних борошняних продуктів готують водно-борошняну суспензію з борошна рисового (гречаного, вівсяного, житнього, ячмінного тощо), піддають її тепловій обробці та сушінню на вальцьовій сушарці [25].

Наступний напрям поліпшення технологічних властивостей борошна – регулювання потоків при формуванні сортів борошна. Борошно з перших систем розмельного процесу характеризується найменшою кількістю поживних речовин, а з останніх систем розмельного і драного процесу – найбільшою. Тому борошно високих сортів можна перемішувати з потоками борошна з кінцевих систем розмельного або драного процесу, контролюючи зольність і білизну борошна для забезпечення їх відповідності встановленим вимогам. Раціонально поєднавши різні потоки борошна, можна отримувати продукти спеціальних сортів – високобілкове або високолізинове борошно [26].

Борошняна сировина з підвищеним містом харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин, білків зі збалансованим амінокислотним складом – це борошно соєве знежирене або напівзнежирене, термічно оброблене або помірно

термічно оброблене, лецитинове (з додаванням лецитину), екструдоване, текстуроване; борошно кукурудзяне декстриноване [27, 28, 29, 30].

Підвищити харчову цінність борошна можна шляхом додавання до його складу дунстів із останніх драних систем у кількості 5...7%. Порівняно з борошном першого сорту, дунстові продукти характеризуються підвищеним вмістом ліпідів, білків (лізину і метіоніну), вітамінів і мінеральних речовин [31, 32].

Актуальним напрямом є регулювання хімічного складу борошна шляхом включення окремих частин зерна в певному співвідношенні. Видаляючи поверхневий шар зерна та шліфуючи його, можна суттєво підвищити вихід борошна вищого сорту [33]. Розроблено технологію низько - вуглеводного борошна для хлібних, макаронних і борошняних кондитерських виробів [34]. Сучасне обладнання дає змогу виготовляти борошно підвищеної крупності з низькою зольністю [35], борошно кондитерське Т-45 та хлібопекарське Т-55 [36].

Одеською школою (проф. О.О. Нетребський) встановлено високу технологічну ефективність розділення за крупністю продуктів розмелювання перших трьох розмельних систем у трипродуктовому відцентровому пневматичному класифікаторі. Реалізація розробленої технологічної схеми дозволяє підвищити об'єм хліба на 14,0% [37].

Виробляють також борошно підвищеної крупності, типу “подольське”, житнє обдирне покращене та ін. шляхом уведення під час формування потоків борошна різноманітних добавок – сухої клейковини, аскорбінової кислоти, солону, вітамінних і ферментних препаратів [36, 38, 39, 40].

Додавання висівок у борошно надає йому додаткової фізіологічної цінності. Так, створено харчові продукти геронтологічного напрямку на основі спеціального сорту борошна з високим вмістом висівок [41].

Збагатити борошно можна і синтетичними вітамінами. Всебічне обговорення питання фортифікації борошна фолієвою кислотою провідними експертами Білорусі, Казахстану, Російської Федерації, США, України дає можливість розробити стратегію та план дій щодо впровадження цього профілактичного

заходу. Досвід понад 50 країн світу, які запровадили фортифікацію борошна, дає підстави очікувати цих необхідних кроків і в Україні [42].

Сучасним і ефективним напрямом регулювання технологічних властивостей борошна є комбінування різних видів борошняної сировини в заданому співвідношенні. Значне різноманіття борошняних продуктів, харчових добавок, додаткових рецептурних компонентів у складі композицій, що пропонуються сьогодні на ринку, дозволяють кардинально змінювати структурно-механічні властивості, харчову і біологічну цінність готових виробів [43, 44, 45, 46, 47].

У багатьох країнах існує певний досвід щодо виготовлення та використання борошняних сумішей. Аналіз інформаційних джерел свідчить, що перші спроби застосовувати борошняні суміші робилися у 70-роках минулого сторіччя [48], тривали у 90-х [49] і наразі залишаються актуальними. Найчастіше основою суміші є пшеничне борошно, іншими складовими компонентами обирають різні види борошна з круп'яних і бобових культур.

Для світлих сортів хліба розроблено і запроваджено у виробництво достатньо розвинутий асортимент борошняних сумішей із залученням декількох видів круп (вівсяної, кукурудзяної, пшоняної), ядра соняшника, солі, клейковини, концентрату “Френч Вілладж”, солодового борошна, прянощів, рослинного жиру, емульгатору, спецій, паприки та цибулі сушеної, томатного порошку, ферментів та ін. [50, 51, 52].

Для темних сортів хліба пропонують такі суміші: суміш для випічки спельтового хліба, зернову суміш “Мультісереал-мікс” (компанія “Діамант”, Австрія); суміш Селянську житню (компанія “Lesaffre”, Австрія); суміш Зернопан (компанія “Lesaffre”, Австрія); суміші Совітал, Тиквіта, Заварний хліб, Бородіно (Ірекс, Росія). У складі цих сумішей помітно зростає частка житнього (до 60%) та солодового борошна, подрібненого зерна або круп, обсмажених пластівців, а також розширюється спектр добавок-регуляторів структури [51].

Сумісне російсько-французьке підприємство “Серес-Суффле” виготовляє багатокomпонентну суміш для хліба “8 злаков” з пшеничної клейковини, соє-

вих, пшеничних та житніх пластівців, насіння соняшнику, льону, кунжуту, зерна гречки та кукурудзи [53]. У сумішах, призначених для виробництва хліба (“Амар”, “Амаклеї”), використовують бобові, соняшник, кукурудзу, овес, просо [54]. Фірма IREKS AROMA пропонує такі борошняні суміші для виробництва хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів: “Совіталмікс”, “ГМ мікс/концентрат”, “Біо-мікс” [55].

Під комерційною назвою “Кама” виготовляють борошно із суміші обсмажених зерен жита, вівса, ячменю, гороху, взятих у рівних частках [56]. Схожі продукти можна зустріти у Фінляндії, там вони називаються *mutti* або *talkkuna*, щось на зразок толокна. На відміну від “Кама”, толокно виготовляється в основному з товченого вівса.

Розроблено склад двокомпонентних борошняних сумішей, які містять пшеничне борошно (або кукурудзяний крохмаль, або рисове борошно, або крохмаль тапіоки) та борошно з твердої пшениці [57]. На основі композитних борошняних сумішей, а також крупів розроблено низку інстантних продуктів дитячого харчування [58]. Композиційну суміш (борошно гречане, вівсяне, кукурудзяне, висівки) застосовують у борошняних кондитерських напівфабрикатах [59]. Одержують борошняні суміші з високим вмістом харчових волокон шляхом спеціальної підготовки та обробки зерна (сепаруванням, концентруванням, лущенням, гідротермічною обробкою, подрібненням) [60].

Щодо ефективності застосування борошняних сумішей як сировини для безглютенового хліба проведено детальні дослідження школою академіка В.І. Дробот [19, 61]. Показано, що структурно-механічні властивості безглютенового тіста з борошна круп'яних культур (рисового, гречаного та кукурудзяного) дуже відрізняються внаслідок різного хімічного складу та гранулометричних характеристик. Варіювання кількісним складом борошняної суміші дозволяє корегувати властивості тіста та хліба. Встановлено, що під час зберігання якість хліба помітно погіршується. Автори роблять висновокв необхідності застосування різних технологічних заходів для глибоких перетворень крохмалю під

час приготування тіста та використовувати добавки, що містять інгредієнти, здатні затримувати процес черствіння.

Регулювання технологічних властивостей безглютенової борошняної си- ровини відбувається найчастіше на етапі тістоприготування. Заміна пшенично- го борошна альтернативним безглютеновим борошном у співвідношенні «один до одного» неможлива. Потрібно застосовувати суміші борошна, які містять боби, сою, рис, картоплю, гречку або сорго. Існують рекомендації комбінуван- ня різних видів борошна та крохмалю. Можливо, найбільш поширеним рецеп- турним гідроколоїдом у безглютеновому хлібопеченні є ксантанова камедь; по- пулярними у використанні є також похідні целюлози – натрійкарбоксиметилце- люлоза, гідроксипропілметилцелюлоза, метилцелюлоза та мікрокристалічна целюлоза [62, 63].

Розроблено спосіб приготування хліба на основі рисового та кукурудзя- ного борошна в комбінації з соєвими білками ізолятами, що передбачає викори- стання в якості коректорів реологічних властивостей тіста та хліба ксантан або модифіковані крохмалі в кількості 1,0...3,0% до маси борошна [64].

Поєднуючи різні види нативних крохмалів, безглютенового борошна і гі- дроколоїдів, вчені створюють структуроутворювальні системи, що дозволяють одержати хліб без клейковини. Основою може бути крохмаль рисовий, борош- но тапіокове, соргове, гречане [18]. Розроблено безглютеновий хліб на основі картопляного крохмалю з додаванням рисового або кукурудзяного борошна і в якості гідроколоїду запропоновано використовувати ксантанову камедь у кіль- кості 2% до маси суміші крохмалю і борошна, а також меланж [65]. Запропоно- вано використовувати модифікований крохмаль кореню тапіоки. Завдяки уніка- льним властивостям він утворює таку ж структуру, як у пшеничних аналогах, зменшуючи крихкість та зберігаючи вологість виробів[1].

Привабливою можливістю поліпшення якості безглютенового хліба є ви- користання заквасок. Позитивний вплив закваски виявляється в підвищенні

об'єму хліба і поліпшенні структури м'якушки, смаку, поживної цінності та запобігання утворенню цвілі протягом усього терміну придатності.

Незадовільна структура безглютенового тіста та хліба пояснюється не тільки відсутністю клейковинної просторової мережі, але й поганою розчинністю і слабкою гідратацією крохмалю в холодній воді. Підвищення кислотності борошна за додавання ферментованої закваски може поліпшити вихідні властивості полісахаридів і певною мірою замінити функцію глютену [26].

Ефективним кроком з технологічної та економічної точок зору є внесення в борошно хлібопекарських поліпшувачів різних груп і принципу дії. При цьому вирішуються наступні завдання: переробка борошна з нестабільними хлібопекарськими властивостями, інтенсифікація технологічного процесу, реалізація прискорених технологій; запобігання мікробіологічному псуванню хлібобулочних виробів та подовження термінів їх зберігання.

Одними з поширених хлібопекарських поліпшувачів є ферменти [66, 67, 68]. Деякі аспекти використання ферментних добавок розглянуто більш детально нижче.

1.3. Досвід застосування ферментів для регулювання властивостей борошняної сировини

Дія основних ферментів у тісті полягає в наступному: амілази розщеплюють крохмаль, підсилюють дозрівання тіста, сприятливо впливають на формування смаку і забезпечують субстратом дріжджі; протеази послаблюють білок клейковини і надають тісту еластичність; геміцелюлази і пентозанази надають тісту більшу стабільність і збільшують його підйом; ліпоксигеназа окислює жирні ненасичені кислоти борошна до пероксидів, які сприяють збільшенню сили борошна; поліфенолоксидаза окисляє феноли в хінони, які конденсуючи, перетворюються на меланіни, які викликають потемніння тіста і м'якушки хліба [69].

Однак, рівень нативних ферментів у борошні значно коливається залежно від умов вирощування зерна, а напрям їхньої дії може бути як позитивним, так і негативним. Дещо збагатити тісто ферментами можна шляхом внесення осолодженого борошна або рослинної сировини, проте спектр дії і співвідношення ферментів у таких добавках не завжди відповідає вимогам сучасних технологій, споживачів тощо.

Внесення ферментних препаратів призводить до трансформації компонентів борошна і тіста в необхідному напрямі, що впливає на інтенсивність біохімічних, мікробіологічних, фізико-хімічних і колоїдних процесів, які відбуваються при дозріванні напівфабрикатів, дозволяє регулювати хід технологічного процесу, властивості тіста і якість готових виробів.

Протеази розщеплюють протеїнові гілки молекул глютену і викликають спочатку розм'якшення, а потім повне руйнування структури [70]. Промислові протеази отримують із рослин (папаїн, бромелаїн, фіцин і т. д.), тварин (трипсин, хімотрипсин, пепсин, ренін і т. д.) та мікроорганізмів (особливо з *Aspergillusoryzae* грибного походження і бактерій *Bacillus subtilis*). Бактеріальні протеази впливають на структуру клейковини інтенсивніше. Найбільш придатною для тіста є протеаза, отримана від *Bacillus subtilis*.

Бактеріальні протеази різко збільшують розтяжність клейковини, зменшуючи її еластичність; грибні протеази роблять це поступово, покращуючи еластичність клейковини. Нейтральні грибні протеази розщеплюють білки клейковини неспецифічно, навіть до їх повного гідролізу [71, 72, 73]. На сьогодні на ринку представлені різні постачальники і найменування їх продуктів: Proteinase 18 (від ABM Chemicals Ltd.), Neutrase 1.55 (Novo Enzyme Products Ltd.), Biobake BPN (Quest International BV), Biobake BCC (Quest International BV) [74]. До протеолітичних ферментних препаратів відносяться Протосубтілін Г10х або Г20х, продуцентом якого є *Bacillus subtilis*, а також Протозім, Neutrase (Novo Noelisk) [75], Нейтраза (Novozimes A/S), GRINDAMYL PR (Danisco) [76].

Ферменти з амілазою поліпшують реологічні властивості тіста, інтенсифікують технологічний процес, підвищують цукроутворюючу здатність борошна, газоутворення тіста, покращують структуру пористості, колір скоринки готових виробів, смак і аромат [77]. У даний час застосовують α -амілази, які можуть мати рослинне (утворюються у пророслому зерні) і мікробне походження (синтезуються бактеріями і грибами) [78]. Грибна амілаза є більш кислотостійкою і термолабільною, ніж зернова, викликає початкову дезагрегацію крохмалю, що сприяє уповільненню процесу черствіння хліба.

В Україні та багатьох країнах випускаються препарати Амілоризин П10х, Амілосубтілін Г10х, Глюкоаваморін Г20х, Глюкоамілазу очищену, Глюконігрин Г20х, Амілонігрин Г10х і Г20х [75, 79]. Крім того, виробляють білий солод і солодові екстракти з активною α -амілазою з пророслого жита чи ячменю [80].

Зарубіжні фірми, що працюють на вітчизняному ринку, також випускають амілолітичні препарати: Fungamyl 2500 SG, Fungamyl BG (приготований на основі очищеної грибної амілази), Bioferm P, Biobake P cone, Grindamyl A 1000, характеризуються низьким рівнем амілоглюкозидазної і протеназної активності, що дозволяє застосовувати їх при переробці борошна з різними хлібопекарськими властивостями. Fungamyl Super AX, Biobake 721 і Grindarmyl S 100 розроблені для корекції низької амілолітичної активності борошна, а також для поліпшення структури м'якушки і продовження терміну зберігання хліба [81].

Препарати Novamyl, Biobake 2000, Grindamyl Max-life U4 і Grindamyl Max-life E5 призначені для подовження терміну зберігання хліба у свіжому стані. Ферментний препарат Novamyl сприяє більш повному протіканню процесу клейстеризації крохмалю [82]. Grindamyl Max-life U4 - ферментний комплекс, що складається з грибної і бактеріальної амілази, розроблений для уповільнення черствіння хлібних виробів, що виробляються опарним способом [83]. Grindamyl Max-life E5 грибного походження доцільно застосовувати у прискорених технологіях.

Геміцеллюлази і целюлази застосовують для стабілізації фізико-механічних властивостей тіста. Вони діють на нерозчинні високомолекулярні пентозани, збільшуючи частку низькомолекулярних, що сприяє утворенню більш міцного каркасу клейковини. При недостатньому вмісті геміцеллюлаз (арабінозідази, екзоксиланази, ксілобіази), які підвищують частку розчинних пентозанів у тісті і відповідно доступність HS-груп білків, знижується водопоглинальна і газотримувальна здатність тіста [84].

Внесення препаратів з геміцелюлазною активністю сприяє збільшенню частки зв'язаної води тіста [70]. Гідроліз нерозчинних пентозанів геміцеллюлазами запобігає утворенню комплексів пентозанів із клейковиною. Продукти часткового гідролізу пентозанів мають високу водоутримуючу здатність, завдяки чому сприяють коагуляційним процесам – утворенню гідратованого каркасу клейковини [85, 86, 87]. Більшість цих ферментів отримують із штамів *Aspergillus*, які спеціально виводять або спеціалізують для виробництва геміцеллюлаз. Геміцеллюлази, отримані з мікробних культур роду *Aspergillus*, краще адаптовані до рН тіста і забезпечують відмінну стабільність і якість виробів з пшеничного дріжджового тіста. Геміцеллюлази, синтезовані мікроскопічними грибами роду *Trichoderma*, розщеплюють геміцелюлози до більш дрібних залишків, роблячи тісто дуже м'яким. Ферменти з ксіланазною активністю відмінно діють на крохмаль і зменшують кількість водонерозчинних арабіноксиланів, що сприяє формуванню оптимальних структурно-механічних властивостей тіста, покращує структуру м'якушки хліба [88].

Препарати геміцеллюлази використовують спільно з амілолітичними ферментами [89]. Данська компанія Novozymes A/S виробляє препарат FungamylSuper, що виявляє амілолітичну і пентозаназну активність. Із зарубіжних ферментних препаратів із геміцеллюлазною активністю відомий препарат Pentopan 500 BG, що виявляє пентозаназну активність і представляє очищений препарат ферменту, отриманого при культивуванні *Humicola insolens* [75]. Ферментні препарати фірми Danisco Grindamyl H, Grindamyl XV і Grindamyl S володіють геміцеллюлазною активністю, впливають на нерозчинні пентозами іксілан [76].

У хлібопекарській промисловості знаходять застосування ферментні препарати з ліполітичною активністю. Роботами вчених Pomeranz Y., Hosseney R., Finney K.F., Ponte I.G., Daniels N. M., Chopra A.K., Chancier H., Пащенко Л.П., Дробот В.І., Поландової Р.Д. та ін. розроблено теоретичні та практичні основи використання ліпази, яка розщеплює триацилгліцериди з утворенням жирних кислот і гліцерину, підвищує біологічну активність субстрату, покращує властивості клейковини та якість готових виробів [90, 67].

Трансглютаміназа є має унікальний спектр застосування завдяки своїм характеристикам:

- широкий рН-інтервал стабільності; незважаючи на те, оптимум рН сирової трансглютамінази становить 6,0, фермент також працює з високою активністю в широкому діапазоні рН від 5,0 до 8,0. За рахунок цього широкого діапазону рН, застосування може бути ефективним в різних процесах харчових виробництв;

- висока термічна стабільність; оптимальна температура для активності трансглютамінази становить близько 50°C, фермент також має високу активність в діапазоні 45...55°C. Основною перевагою трансглютамінази є те, що вона стає неактивною, коли внутрішня температура продукту досягає 75°C або більше [153].

Ліполітичні ферменти перетворюють неполярні ліпіди в ди- і моногліцериди. Полярні ліпіди (особливо фосфоліпіди і гліколіпіди) можуть бути перетворені дією спеціальних ліпаз і фосфоліпаз у їх гідрофільні лізоформи. Продук-

ти гідролізу фосфоліпідів вступають у взаємодію з вуглеводами і білками борошна з утворенням ліпопротеїдних комплексів. Механізм дії фосфоліпідів у процесі тістовиготовлення ще не зовсім з'ясований. На думку Romeranz Y., фосфоліпіди змінюють структуру клейковини в процесі замісу тіста, каталізують окиснення сульфгідрильних груп і полімеризації білків у процесі впливу на ліпіди перекису, збільшують газоутримувальну здатність і діють як засіб проти черствіння [91, 92]. У зв'язку з цим застосування фосфоліпази створює передумови для підвищення функціональності власних фосфоліпідів пшеничного борошна. Є підстави припускати, що ліпази здійснюють модифікацію як білкової, так і крохмальної складової борошна. Однак, роль ліпідів борошна і ліпаз у процесі тістоприготування досі не з'ясована [93].

Вченими Л.Ауерманом, В.Кретович і Р.Поландовою для поліпшення якості хліба запропоновано використовувати сою як джерело ліпоксигенази [94]. Значна кількість ліпоксигенази міститься в клітинному соці картоплі [95]. Також розроблений спосіб поліпшення якості хліба, заснований на використанні ліпоксигенази пшеничного борошна [96]. Комплексний таблетований хлібопекарський поліпшувач Grindamyl Power Bake 4401 Tab володіє ліпазною, амілазною і геміцелюлазною активністю [97].

Окисно-відновні ферменти застосовують для регулювання реологічних властивостей тіста. Як ферменти-окисники застосовують ліпоксигеназу, комплекс глюкозооксидази і каталази або комплекс із ліпоксигенази, пероксидази і каталази. Вплив глюкозооксидази на тісто полягає в оксидації глюкози за допомогою повітряного кисню з утворенням глюконової кислоти та перетворенні води в пероксид водню. Це впливає на тіолові групи глютену; утворюються дисульфідні містки. Обмежуючим параметром у цьому процесі є доступність кисню, тому умови для глюкозооксидази виникають тільки на поверхні тіста [69]. Цей фермент одержують в основному зі штамів *Aspergillus*, іноді зі штамів *Penicillium* [75, 88, 98]. Іншим джерелом для отримання глюкозооксидази може бути мед, але він рідко використовується з цією метою. Фірма Danisco випускає препарат глюкозооксидази Grindamyl Sure bake [69]. Препарат глюкозооксидази

Глюза Моно 10000 сприяє окисненню β -Д-глюкози, впливає на SH-групи з утворенням додаткових зв'язків в клейковинних білках, підвищує силу борошна, відбілює м'якушку [76].

Узагальнюючи наведену вище інформацію щодо застосування ферментних препаратів у виробках з дріжджового тіста, слід зазначити, що загалом продукція на основі борошна (хлібобулочна, макаронна, кулінарна) є найбільш поширеною у повсякденному споживанні. Тому вимоги споживачів щодо застосованих у ній харчових добавок є найбільш суворими за натуральністю, безпечністю та можливістю їх контролювання. Це стосується не тільки вітчизняного, але й європейського та світового товариства.

Так, згідно з Директивою 2000/13/ЕС Європейського Парламенту та Консиліуму від 20 березня 2000, всі кінцеві продукти повинні мати відповідне маркування. Згідно з цією Директивою, ензими, які використовують як допоміжні засоби виробництва, можуть бути виключені із законодавчого опису інгредієнта. Допоміжний засіб (відповідно до Regulation (EC) 1333/2008 Європейського Парламенту від 16 грудня 2008 року) – це така речовина, яка не вживається в їжу самостійно; навмисно використовується у процесі обробки сировини, продуктів або їх інгредієнтів для виконання певних технологічних цілей; може полягати в умисній, але неминучій присутності в кінцевому продукті як залишок речовини або його похідна за умови, якщо вона не становить ризику для здоров'я.

Фермент не проявляє свої технологічні властивості в кінцевому продукті, навіть якщо присутній в ньому. Завдяки пастеризації чи іншим тепловим процесам під час технологічної обробки ензим руйнується і інактивується. Тобто, як тільки фермент у процесі виробництва виконав своє завдання, він може бути інактивований.

Все це можна сказати про трансглютаміназу – достатньо новий для хлібопечення фермент, що підсилює білок клейковини і сприяє формуванню оптимальних характеристик тіста. Вплив цього ферменту є чисто технологічним і закінчується, як тільки фермент виснажується або піддається денатурації. Та-

ким чином, трансглютаміназа не виконує в кінцевому продукті технологічних функцій, безпечна для здоров'я, є допоміжною речовиною згідно із законодавчим описом і не повинна згадуватися при маркуванні продуктів. Завдяки своїм унікальним властивостям трансглютаміназа дуже ефективно застосовується у виробництві багатьох харчових продуктів, в тому числі на основі борошна.

Трансглютамінази (TG) були описані в 1959 році [104], а точна біохімічна функція отримана на факторі згортання крові XIII в 1968 році [105]. TG є мономером білка, що містить 331 амінокислоту і має молекулярну масу від 38000 Da [149].

Трансглютамінази – сімейство ферментів, що каталізують ацил-передачі між залишками лізину і глютаміну в білках, тим самим формуючи ковалентні зшивки між білковими ланцюгами, які є стійкими до протеолізу. Ці зв'язки можуть бути сформовані між білками, відмінними за типом (наприклад, казеїни, міозин, глобуліни, актин і т.д.) і за походженням (наприклад, із сої, пшеничної клейковини і т.д.). Трансглютаміназа каталізує утворення поперечних зв'язків між білковими ланцюжками (рис.1.3) у трьох напрямках:

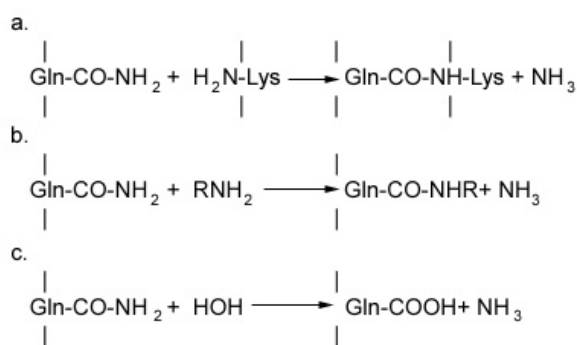


Рис.1.3. Схематичне зображення механізму каталітичних реакцій з трансглютаміназою [150]

Реакція переамідування, яка вимагає наявності Ca^{2+} , може призвести до такого: а) – ковалентне зшивання білків шляхом введення N ϵ (γ -глютаміл) лізину як зв'язку між донором залишку лізину одного білка (P2) і акцептором залишку глютаміну іншого білка (P1) з утворенням ізопептиду; б) – ковалентне включення амінів (R-NH_2 , таких як поліаміни, гістаміни) до глютамінового за-

лишку акцепторного білка (P1); с) – в деяких випадках вода може замінити донор амінного субстрату, що призводить до дезамідування білка (P1)-зв'язаного залишку глютаміну. Кожна з цих реакцій конкурує з іншими. В окремих випадках можлива участь в реакції коротких пептидів гліадину.

Білкові субстрати можуть бути розділені на два основних сімейства: ті, які виступають в якості ацильного донора, тобто володіють активним глютаміном; ті, що діють як акцептор ацила, тобто володіють активним лізином [140].

З трьох можливих реакцій тільки поперечне зшивання (напрямок А рис.1.3) представляє інтерес для модифікації функціонально-технологічних властивостей білків. Крім того, реакція між γ -карбоксіламідними групами і первинними амінами є перспективним інструментом для підвищення поживної цінності рослинних білків шляхом додавання дефіцитних амінокислот. В напрямку А (рис.1.3) TG застосовує ϵ -аміногрупу зв'язаного в протеїні залишкового лізину в якості одержувача ацила і каталізує перетворення між- і внутрішньомолекулярних поперечних зв'язків лізину в залишковий глютамін за наступною схемою (рис.1.4).

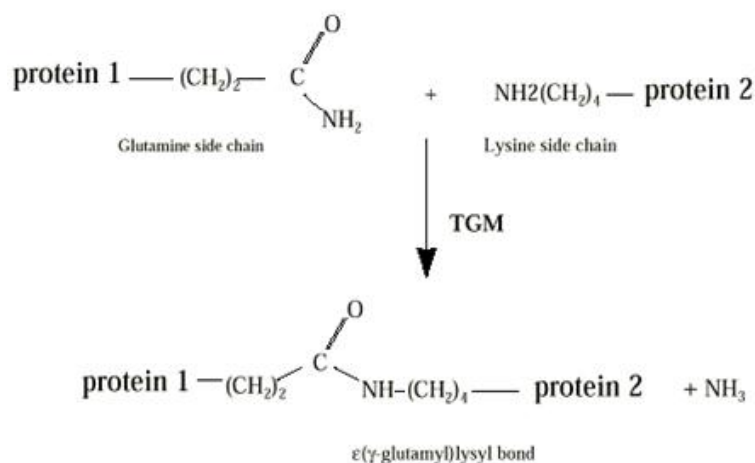


Рис.1.4. Схема реакції між глютаміновим та лізиновим залишками білків в присутності TG

Тканинна TG змінює пептиди клейковини на форму, яка викликає більш ефективну імунну реакцію [140]. Ці пептиди можуть змінюватися під дією TG двома способами: дезамідуванням або переамідуванням. Переамідування зустрічається втричі частіше, ніж дезамідування. При переамідуванні відбувається об'єднання залишків глютаміну із залишками лізину (з утворенням крос-

зв'язків) в процесі реакції, яка каталізується TG (напрямок А рис.1.3). Поєднання може відбуватися всередині або поза активного центру ферменту. В останньому випадку утворюється стійкий ковалентнозв'язаний комплекс гліадину і TG.

Мікробіальна TG каталізує ацил-передачі між γ -карбоксіламідними групами пептидів або залишками глютаміну та первинними амінами (напрямок В рис.1.3). За відсутності первинних амінів, дезамідування залишків глютаміну є результатом використання води в якості ацил-акцептора (напрямок С рис.1.3). Природа і конформація амінокислоти в безпосередній близькості від залишків глютаміну є чинниками, що впливають на реактивність ацильного донору.

На першому етапі реакції утворюється комплекс між залишком глютаміну (ацил-донор) і реактивним центром TG [141]. У зв'язку з формуванням просторового двійкового комплексу між ферментом і субстратом, вміст глютаміну і зв'язування цієї амінокислоти вважаються граничними параметрами реакції зшивання. Формування проміжного ацил-ферментного комплексу, який включає в себе тіолову групу цистеїну в активному центрі TG, відбувається з утворенням аміаку [142,143]. Коли ϵ -аміногрупи лізину виступають в якості ацильних акцепторів, утворюються поперечні зв'язки ϵ -(γ -глютаміл)-лізину. В результаті ізопептидні зв'язки створюють стабільну мережу білка завдяки між- і внутрішньомолекулярним взаємодіям. Гідролітичне дезамідування набагато повільніше, ніж зв'язок з первинними амінами і утворення поперечних зв'язків у присутності доступних ϵ -амінобічних ланцюгів лізину відповідно [144,145].

Тривимірна схема «дії» трансглютамінази, запропонована [138], представлена на рис.1.5. Два тунелі блокують воду з глибини глобулярних областей (а). Видалення води з каталітичного центру бере до уваги, що і Gln-який містить субстрат (також відомий як «ацил» або «донор»-субстрат), і нуклеофіл (також відомий як «амін» або «акцептор»-субстрат) повинні мати доступ каталітичного цистеїну через канал, оточений неполярними залишками. І ця трубка повинна бути довше як мінімум в 2...3 рази, і не може бути ширшою більше, ніж у два рази порівняно з середнім радіусом водневих зв'язків, для того, щоб досягти

ефективного виключення розчинення водою. Субстрати із залишками глютаміну і лізину потрапляють в каталітичний центр (б), де їх кінці можуть взаємодіяти з каталітичним центром і один з одним.

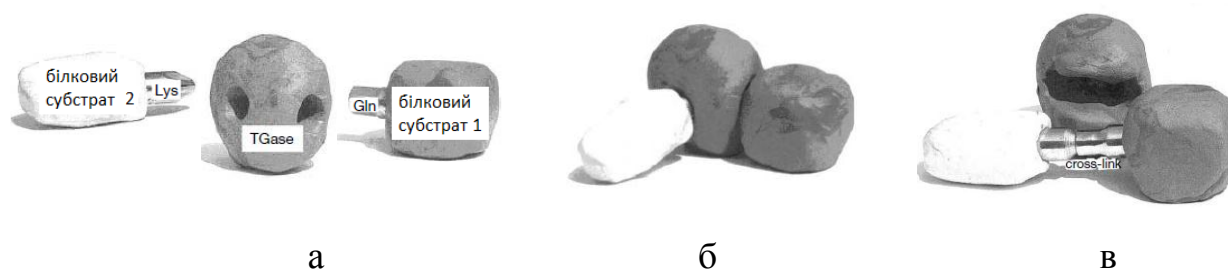


Рис.1.5. Тривимірна схема дії ферменту трансглютаміназа [146]

«Каналювання» залишків субстрату потрібно для того, щоб два субстрати підійшли до каталітичного центру з двох боків, причому по одному каналу – ацил-субстрат, по іншому – амін субстрат. Після утворення поперечних зв'язків в ізопептиді між глютаміном і лізином тунелі повинні відкритися, створюючи безперервний паз і звільняючи зшитий продукт (с). Якщо громіздкі субстрати, такі, як білки, повинні бути поперечно пов'язані, тунелі глютамін-субстрату і амін-субстрату необхідно відкрити досить віддалено один від одного, практично, на протилежних боках трансглютамінази.

На відміну від інших використовуваних в промисловості ензимів (наприклад, амілаз і протеаз), які поділяють субстрат на більш дрібні фрагменти, TG створює з білкових ланцюгів більш великі протеїнові сполуки. Таким чином, можна надавати позитивний вплив на текстурні властивості продуктів харчування і розробляти нові продукти.

TG природним чином присутні в багатьох організмах – як складова частина тварин, рослин і мікроорганізмів, тобто деяка кількість TG вже присутня в м'ясних, рибних та овочевих продуктах харчування.

У комерційних цілях для використання в продуктах харчування TG витягується з крові тварин або виробляється шляхом бродіння. Мікробіальну TG отримують з *Streptomyces mobaraensis* (раніше синонім *Streptoverticillium*

mobaraense), починаючи з 1989 року [106]. TG широко поширена в еукаріотичних організмах. Вона виявлена в різних тканинах тваринного і рослинного походження [108,109,110,111,112, 113,114,115].

Ферментативні характеристики TG і її вплив на функціональні властивості білків досліджені з використанням Ca^{2+} -залежної TG, отриманої з печінки морської свинки [116, 117], інших тканин тварин, таких як кальмарові зябра, печінки щурів, японські устриці або свиняча кров [118,119,120,121], і з крові людини [122].

Тим не менш, застосування TG в харчовій промисловості було недоцільно через порівняно невелику одержувану кількість, необхідність кроків і витрат з розділення і очищення препарату. У 1989 році Андо зі співавторами [123] була витягнута Ca^{2+} -незалежна мікробіальна TG з *Streptomyces mobaraensis*. Очищення виявилось досить легким, і виробництво TG було розпочато в комерційних цілях. Тим не менш, для промислового використання реалізовано більш ефективна система виробництва TG і розглянуті варіації TG для створення продуктів з необхідними властивостями.

Таким чином, сьогодні тривають спроби отримати мікробіальну TG з інших мікроорганізмів шляхом звичайної ферментації [124,125,126,127,128,129] або за допомогою генетичної модифікації різних мікроорганізмів.

1.4. Перспективи та ефективність використання трансглютамінази для створення сучасних продуктів харчування

Трансглютаміназа (КФ 2.3.2.13, білок-глутамін-гамма-глутамілтрансфераза) має унікальний спектр застосування завдяки своїм характеристикам: широкий рН - інтервал стабільності від 5,0 до 8,0; висока термічна стабільність у діапазоні 45...55°C з оптимумом близька до 50°C; інактивація за температури 75°C або більше [99].

Цей фермент впливає виключно на протеїни, каталізуючи реакцію формування специфічного ізопептидного зв'язку між карбоксиамідною групою глутаміну і аміногрупою лізину. Ці зв'язки можуть бути сформовані між білками, що відрізняються за типом (казеїни, міозин, глобуліни і т.д.) і за походженням (з сої, пшеничної клейковини і т.д.). ТГ утворює сильні ковалентні зв'язки, які важко розриваються в умовах неферментативних реакцій [100, 101, 102, 103].

Перші дослідження з використання ТГ для модифікації харчових білків були проведені з ферментом із печінки свинячої та бичачої плазми. Обмежений запас цих ізоформ і висока вартість їх виробництва гальмували розвиток технологій за участю ТГ в харчовій промисловості. Але у 1989 була виділена мікробна трансглютаміназа з *Streptoverticillium* SP. Її характеристики показали, що ці ізоформи можуть бути надзвичайно корисні в якості біотехнологічних інструментів у харчовій промисловості [104]. Дійсно, мікробні трансглютамінази активно діють у широкому діапазоні температури і рН, володіють кальцій-незалежною діяльністю, мають ізоформи [105].

Трансглютаміназу використовують у виробництві багатьох видів продуктів харчування – м'ясних, рибних, хлібобулочних, молочних. Вона придатна для багатьох завдань, може бути покращувачем фізичних властивостей і структури, знижуючи вміст солі і комбінуючи (з'єднуючи) шматки м'яса або риби. Щодо реакційної здатності ТГ взаємодіяти з різними білками харчових продуктів, її можна поділити на три групи: дуже добра реакційна здатність з білками молока (казеїном) та м'яса (желатином); добра – з білками хлібних культур; за-

довільна – з білками сироватки (α -лактальбуміном та β -лактоглобуліном), яйця (овальбуміном) та м'яса (міоглобіном) [194].

Використання ТГ в харчовій промисловості почалося в Японії з приготування продукції з рибної пасти. Ефект від дії ТГ на фізичні властивості гелів сурімі описано в роботах [106, 107, 108, 109].

Фахівці японської фірми Ajinomoto першими виробили кілька препаратів мікробної ТГ, які поширюються на ринку під різними іменами. Наприклад, Activa WM, порошок, який містить 1% ТГ і 99% мальтодекстринів, запропонований для поліпшення властивостей текстурованого м'яса, а також успішно використовується в молочних продуктах [106]. Препарат Activa MP, що містить також лактозу, запропоновано використовувати у виробництві сирів, йогурту.

Доведено, що деякі м'ясні білки здатні виступати в якості субстратів ТГ. Показано [110], що цей фермент каталізує утворення поперечних зв'язків між фібрином і фібронектином, фібрином і актином, міозином і фібронектином, міозином і актином. Пізніші дослідження багатьох авторів, представлені у збірці [111], показали ефективність мікробних лізоформТГ для виробництва різних видів м'яса – яловичини, птиці, свинини. У даний час додавання ТГ в суміші з казеїнатом натрію широко використовують для реструктуризації м'яса з різної сировини і виробництва відповідних харчових продуктів.

Зміни молочних білків у присутності ТГ також ретельно вивчені – спочатку з використанням ферменту з печінки морської свинки і крові (фактор згортання XIII), а пізніше – ізоформ мікробних ферментів. Експериментально встановлено, що казеїн є ефективним субстратом ТГ [110, 112]. Більшість досліджень також показали ефективність ТГ для підготовки йогуртів. Kuraishi і співавтори [113] встановили, що йогурт, зроблений у присутності ТГ, має підвищену міцність гелю і в'язкість.

Chanyongvorakul зі співавторами [114] повідомили, що гелі з ТГ є більш жорсткими і пружними, ніж термічно індуковані гелі. Використання хлориду магнію разом з ТГ в якості коагулянту забезпечує отримання тофу з гладкою, пружною текстурою, підвищеною водоутримувальною здатністю через наяв-

ність більш стабільних ковалентних поперечних зв'язків, які утримують значну кількість води.

У багатьох роботах наголошується, що протеїни пшениці здатні виступати в якості субстратів ТГ [115, 116, 117, 118, 119].

Porta зі співавторами [120] показав реакційну здатність різних білків зернових виступати в якості ацил-донорів для ТГ.

ТГ сприяє утворенню поперечних зв'язків між молекулами клейковинного білка і таким чином поліпшує реологічні властивості тіста. Прекрасно доповнюючи інші хлібопекарські ферменти, ТГ підсилює білок клейковини і сприяє формуванню оптимальних характеристик тіста [117]. Особливістю цього ферменту є те, що реакція між глютаміном і лізином обумовлена температурою і тривалістю самої реакції. ТГ може легко окисюватися і інактивуватися цистеїном групи SH. В'язкопружні властивості клейковини у присутності ТГ, а також чутливість білка до термічної обробки зменшуються порівняно з немодифікованою клейковиною. Ці дослідження сприяли використанню ТГ для приготування локшини і макаронів в Японії. ТГ додають в борошно, що надає макаронам і локшині твердість, яка залежить від кількості ферменту [113].

Найбільш бурхливий розвиток технологій хліба з використанням ТГ відбувався на межі 20 та 21 сторіч, про що свідчать результати огляду патентів, наведені в табл.1.2 [121].

Серією досліджень показано, що мікробіальна ТГ поліпшує властивості і якість випеченої продукції. Як вказує Basmann та ін. [122], вплив ТГ на реологічні властивості тіста та якість хліба залежить від кількості ТГ. Дослідженнями на фаринографі доведено зниження водопоглинальної здатності борошна з підвищенням рівня ферментів (до 0,5% м/м). Час утворення тіста і показник стабільності спочатку збільшується з ростом дози ТГ, але знижується за більш високих концентрацій (1,0...1,5% м/м). Низькі кількості ТГ покращують якість хліба (стан шкоринки, крихкість), а великі кількості призводять до негативних наслідків.

Ще в одному дослідженні Basmann зі співавторами [123] розглянуто вплив ТГ на пшеничне борошно з додаванням ячмінного та соєвого. Хліб з додаванням ТГ (0,25% м/м) зі слабким пшеничним борошном та ячмінного борошна до 30% має високий об'єм, а також меншу крихкість, гарну шкоринку і еластичну м'якушку.

Додавання ТГ до сильного борошна призводить до незначного зниження об'єму хліба при будь-якій концентрації ячмінного борошна. Висока частка висівок змінює збалансоване співвідношення крохмалю, клейковини і пентозанів у тісті, зменшуючи об'єм виробів. Додавання ТГ до пшенично-житньої суміші та/або з харчовими волокнами призводить до більш високої однорідності і стабільності тіста [124].

Таблиця 1.2

Огляд патентів з виробництва хлібних виробів з ТГ

Номер Патенту	Рік видання	Назва
JP 02286031	1990	Пшеничне борошно для пирогів і тістечок
JP 4360641	1992	Виробництво хліба
США 5279839	1994	Хлібобулочні вироби та напівфабрикати
JP 6078663	1994	Підготовка смажених в олії харчових продуктів
JP 7184529	1995	Виробництво випечених виробів
JP 7250609	1995	Виробництва хлібобулочних продуктів
JP 9191820	1997	Спосіб запобігання розм'якшення печива
EP 0760209	1997	Спосіб виготовлення хлібобулочних виробів
JP 10028516	1998	Хліб, що може бути використаний для нагріву в мікрохвильовій печі
EP 0847701	1998	Модифіковане зернове борошно і продукти харчування з його використанням
JP 11155468	1999	Композиція для напіввипеченого хліба
JP 11276056	1999	Заморожене тісто і випечений з нього хліб
EP 0938845	1999	Спосіб виробництва хліба (з ТГ і частково гідролізованим білком) і підготовка ферменту
USA 6517874	2003	Застосування ТГ для виробництва хлібобулочних виробів з низьким вмістом пшениці
DE 10346764	2004	Тісто, попередньо ферментоване ТГ, призначене для випечених продуктів, отриманих з борошна та/або незернового матеріалу разом з хлібопекарськими дріжджами та/або молочнокислих бактерій
JP 2004242647	2004	Виробництво гліадиновмісних виробів з ТГ
USA 20050202144	2005	Спосіб виробництва хліба з тривалим терміном зберігання

Дослідженнями Basmann [122] вивчено вплив підвищення кількості ТГ на реологічні властивості борошна. Встановлено зменшення водопоглинальної здатності зі збільшенням кількості ТГ. Показник стійкості тіста спочатку збільшується зі збільшенням рівня ТГ (0...0,5%, м/м), але на більш високих рівнях ТГ починає знижуватись. Низький рівень ТГ позитивно впливає на якість хліба, у той час як більш високі рівні (1,0...1,5%, м/м) погіршують її. Автори [3] підтвердили вказані ефекти.

Недостатньо сформована просторова структура глютену, недостатня еластичність і, отже, низька якість тіста є проблемою в разі виробництва хліба зі слабого борошна. Присутність ферментів, таких, як α -амілаза та пентозаназа, для поліпшення житнього тіста, робить його більш м'яким, а хліб помітно плоским [125]. Додавання ТГ значно знижує липкість тіста, що полегшує його механічну обробку. Об'єм хліба збільшується завдяки поліпшенню здатності тіста утримувати газ. Стабільність тіста і форма хліба також поліпшується, навіть за додавання житнього борошна до 80% [126].

У роботі [127] досліджено вплив ТГ на фізико-хімічні властивості тіста на основі пшеничного борошна з додаванням резистентного крохмалю. ТГ збільшує розтяжність тіста і об'єм хліба завдяки добре розвиненій клейковинній мережі. При додаванні гідроксипропілметилцелюлози, високоетерифікованого пектину і/або емульгаторів (діацетілвинної кислоти, DATEM) разом з TG відзначається синергічний ефект від змішування, збільшуються водопоглинання, час утворення тіста і стабільності [128].

Ущільнення тіста з поліпшеною здатністю утримувати воду, з сильною клейковиною і відповідною адгезійною поведінкою досягається завдяки використанню сумішей ТГ з пектином та DATEM, в основному, за рахунок взаємодії «ТГ+DATEM» і «DATEM+пектин». Поліпшення свіжості і гальмування черствіння досягається для хлібобулочних виробів за рахунок використання ферментів, гідролізованого і негідролізованого крохмалю. Синергічний ефект досягається, якщо ТГ вводити в тісто з додаванням α -амілази [129].

Важливе значення для нашого дослідження мають наукові роботи [130], у яких йдеться про позитивний вплив ТГ на в'язко-пружні властивості пшеничного тіста, за умови, якщо ензим додавати окремо або в комбінації з гідроксипропілметилцелюлозою (HPMC), високоетерифікованим пектином (GENU), ферментами (α -амілазою та ксиланазою) і емульгатором (DATEM).

Комплексний позитивний вплив мікробної ТГ на сенсорні та механічні властивості, на крихкість свіжого формового хліба на опарі з сортового борошна та борошна грубого помелу з додаванням амілолітичних та неамілолітичних ферментів досліджено в роботі [131]. Показано, що підвищується об'єм хліба, поліпшуються аромат, смак і стан м'якушки. Ці ж автори в роботі [132] доводять позитивний вплив таких комбінацій під час зберігання хліба, вказуючи на зменшення крихкості та уповільнення черствіння.

Щоб змінити властивості борошна, ТГ, як правило, додають до борошна або тіста перед випічкою. Ямазакі і Соеда [133] розробили метод модифікації пшеничного борошна із застосуванням ТГ на етапі попередньої підготовки. Водний розчин ТГ (5...10 г U^{-1} білка) додається при очищенні зерна пшениці. Темперування проводять при 10...30 °C протягом 16...50 год для проникнення ТГ з поверхні зерна пшениці в ендосперм. Сенсорна оцінка випеченого хліба свідчить про поліпшення кольору поверхні і якості текстури.

Россель і співавтори [134] повідомляють про альтернативні методи поліпшення пшеничної клейковини шляхом додавання ТГ до води для кондиціонування, що підтверджують результати Ямазакі і Soeda [133]. Харчові продукти з високим вмістом води (креми і фрукти), які додають у випечені вироби або пироги, призводять до того, що останні часто стають сирими. Продукти, оброблені ТГ, є більш хрусткими, добре лушчаться і нерозм'якшують тісто.

ТГ у кількості 5 г на 1 кг борошна покращує підйом листового тіста і об'єм круасанів. Після випічки продукти збільшуються в розмірі, мають відмінну текстуру, смакові відчуття і шаруватість. Ці ефекти зберігаються після випікання або якщо тісто для круасанів зберігати замороженим до 90 днів. До-

ведено зменшення кількості альбумінової і глобулінової фракції, з одночасним збільшенням гліадинової [135, 136, 137].

Загалом, що стосується зернових білків, ТГ має позитивний вплив на пшеничні хлібобулочні вироби – збільшується об'єм та поліпшується структура хліба [138], зменшується крихкість [139]; збільшується висота в листковому тісті і круасанах [136], поліпшується стабільність тіста [140], покращується якість випічки зі слабкого пшеничного борошна [141], з суміші пшеничного борошна з домішками ячмінного або соєвого [142]. Цей фермент також можна застосовувати для пшеничного борошна, отриманого з зерна, ушкодженого клопом-черепашкою. Пружність і розтяжність свідчать про поліпшення хлібопекарської якості пошкодженого борошна після додавання ТГ.

Все вищевикладене стосується зерна пшениці і борошна з нього. Проте, існує ще широкий асортимент борошняних виробів, які не містять пшеничне борошно і тому потребують додаткових заходів модифікації просторової білкової мережі тіста.

Сучасні тенденції щодо ферментативної модифікації клейковинного хліба спрямовані на застосування ферментів, які модифікують білок, крохмаль і некрохмальні полісахариди борошна. Стосовно безглютенових виробів, тут використання ферментів досить довго було обмеженим, тому що багато комерційних ферментних препаратів містили пшеничне борошно або пшеничний крохмаль [84, 143]. Наразі ситуація змінюється, тому що ферментні препарати на сучасному ринку характеризуються повною відсутністю в їх складі навіть мікродоз глютену. Ферменти здатні змінювати структуру безклейковинного тіста шляхом гідролізу, окиснення або зшивання, що призводить до поліпшення структури м'якушки, якості свіжого хліба, подовження терміну зберігання [84].

Під дією трансглютамінази зшиванню підлягають функціональні білки безглютенового борошна [141, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 15]. Розвиваючи уявлення про ефективність застосування ТГ в безглютеновому хлібі, багато зарубіжних дослідників вивчали цю проблему в різних технологічних напрямках. Ре-

комендовано застосовувати водоутримувальні добавки, найчастіше похідні целюлози; змінюючи склад білкового компоненту.

Наразі основним методом імітування властивостей клейковини є виготовлення виробів з безглютенового борошна з додаванням полімерних речовин, таких, як ксантанова камедь і гідроксипропілметилцелюлоза (ГПМЦ), різних видів крохмалю в комбінації з загусниками і молочними інгредієнтами [7, 8, 9]. Спроби поліпшити структуру безглютенового хліба зосереджені також на додаванні гідроколоїдів, емульгаторів, заквасок або ферментів у тісто. Інші інгредієнти (молочні порошки, яєчний альбумін, пребіотичні речовини і соєві білки) мають подвійний ефект – підвищення органолептичних і поживних властивостей хліба [84, 151, 152].

Досліджено можливість застосування ТГ для безглютенового тіста з пре-

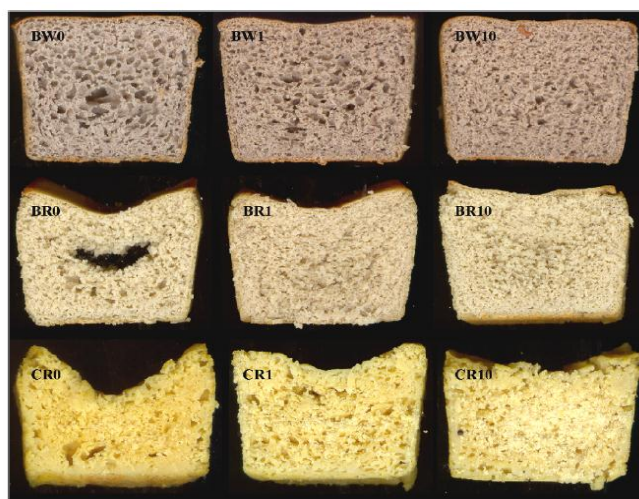


Рис.1.6. Зовнішній вигляд формового безглютенового хліба з різних видів борошна - гречаного (BW), з коричневого рису (BR), кукурудзяного (CR) з різною кількістю ТГ (0 – без ТГ, 1 та 10 од.) [156]

желатинізованого крохмалю маніоки, сорго і яєчного білка [153]. Значні зміни реологічних властивостей тіста відбуваються при збільшенні концентрації ТГ від 0 до 0,5 од/г. Доведено ефективність застосування ТГ у безглютенових системах, що пов'язано зі змінами в'язко-пружних властивостей, поліпшення якості одержуваного безклейковинного хліба [154, 155]. У цих дослідженнях додавали ксантанову камедь, щоб компенсувати

відсутність клейковинної мережі [155]. У роботі [154] оцінено ефективність сумісного використання ТГ та ефірів целюлози в тісті з рисового борошна.

З метою отримання уявлень про масштаби модифікації зернових білків і формування просторової білкової мережі безглютенового хліба вивчено ефек-

тивність застосування ТГ [156] у хлібі з безглютенового борошна – гречаного (BW), з коричневого рису (BR) та кукурудзяного (CR) (рис.1.6).

Дослідження за допомогою конфокальної мікроскопії [156] свідчать, що додавання ТГ в тісто з гречаного борошна підвищує безперервність білкової фази; для коричневого рису встановлено відсутність будь-якої білкової мережі. Таким чином, підтверджено ефективність впливу ТГ на мікро- та макроструктуру безглютенового хліба. Тим не менш, джерело білків є ключовим елементом визначення впливу ТГ.

Наступним кроком у вдосконаленні технології безглютенового хліба з використанням ТГ є застосування в рецептурі, що базується на рисовому борошні, додаткових видів білкових ресурсів – глютену (для порівняння), білка молочної сироватки, соєвого ізоляту в кількості 3% від маси борошна (рис.1.7) [157]. Дані свідчать про певне (але не кардинальне) покращення

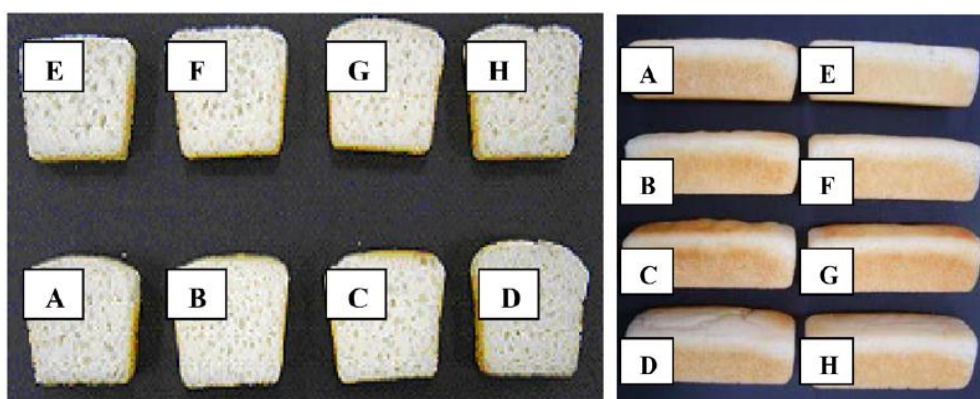


Рис.1.7. Зовнішній вигляд формового хліба з рисового борошна (А, Е) з додаванням білкових ресурсів (глютену – В та F, білок молочної сироватки – С та G, соєвого ізоляту – D та H) в кількості 3% від маси борошна без ТГ (від А до D) та з додаванням ТГ (від Е до H) [157]

Цікавими є результати дослідження [158] білків композитного борошна, яке містить рисове борошно разом з ізолятами білків сої та гороху (рис.1.8). Білкові ізоляти сої показали найбільший вплив на функціональні властивості тіста. Зразок тіста на основі рисового борошна має нерівномірну структуру, де гранули крохмалю утримуються білками (А, рис.1.8). За додавання ТГ спостері-

гається більш рівномірний розподіл гранул крохмалю за рахунок більш компактної структури тіста (В, рис.1.8). Ці результати добре збігаються з даними авторів [159, 160].

Соеві білки утворюють гелеподібну структуру (С, рис.1.8); білки гороху представлені агрегатами спотвореної сферичної структури (D, рис.1.8). Коли всі компоненти (борошно, білкові ізоляти і ТГ) змішують (Е, рис.1.8), білки інтегруються в компактну структуру. Важко диференціювати білок рисового борошна та ізольовані білки, ідентифікувати їх як незалежні структури тощо. Між тим, автори не намагаються стверджувати очевидність взаємодії білків між собою самостійно або завдяки зшиванню ТГ.

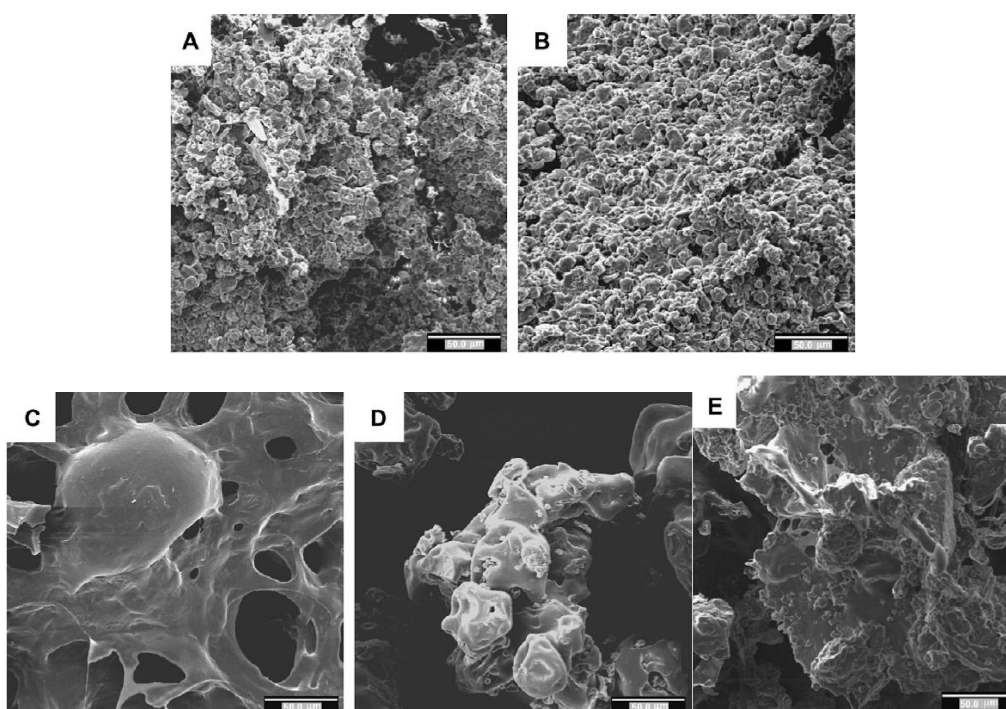


Рис.1.8. Мікрофотографії (збільшення 500) різних зразків тіста: А – гідратоване рисове борошно; В – гідратоване рисове борошно в присутності 1% (м/м) ТГ; С – гідратований соєвий білковий ізолят; D – ізолят білка гороху; гороховий та соєвий білковий ізоляти разом з ТГ [158, 161].

На користь останнього свідчать дані про підвищення агрегації соєвих гелів при обробці ТГ, які отримали Fan зі співавторами [161] та проаналізували їх структуру за допомогою скануючого електронного мікроскопа [162].

На встановлення можливої взаємодії між білками рисового борошна та в присутності різних білкових ізолятів (гороху, сої, яєчного альбуміну, глютену)

дослідниками [16] визначено кількість вільних аміногруп в тісті з використанням ТГ. Додавання ТГ не призводить до статистично значущих відмінностей у контрольному зразку з рисового борошна та з додаванням ізольованих білків гороху. У присутності сої або глютену кількість вільних аміногруп за додавання ТГ суттєво знижувалась, що підтвердило здатність ТГ «зшивати» ці білки. Зразок з білком яєчного альбуміну показав неочікуване збільшення вільних аміногруп після обробки ТГ, що пояснено авторами збільшенням розчинності білків у результаті реакції деамідування [163].

Досліджено доцільність використання ТГ для поліпшення текстурних властивостей безклейковинного хліба шляхом утворення стабільної, ковалентно зв'язаної білкової мережі. Показано, що обробка ТГ борошна з коричневого рису підвищує еластичність тіста і призводить до значного поліпшення текстури хліба [156, 165, 166].

У роботі [167] оцінено дію ТГ в різних дозуваннях у безглютеновому хлібі з протеїнами сої, знежиреного молока або яєчного порошку. Хліб, вироблений на основі знежиреного молока і ферменту, має найкомпактнішу структуру. Як пояснення запропоновано утворення сітчастої структури в безглютеновому хлібі, яка, в свою чергу, залежить від вмісту ТГ і виду використаного протеїну.

Moore зі співавторами [162] намагалися імітувати в'язко-пружні властивості клейковини використанням ТГ (0,1-10 г U-1 білка) у безглютеновому хлібі з білого рисового та кукурудзяного борошна, картопляного крохмалю за додавання інших рецептурних компонентів (соєвого борошна, молока сухого знежиреного, яєчного порошку). Зразки хліба з додаванням ТГ (10 г U⁻¹) із сухим знежиреним молоком показали значно більшу твердість м'якушки, у тому числі під час зберігання протягом 5 діб, ніж інші зразки з меншою дозою ТГ.

Спробу розширити сировинну базу для безглютенової продукції зроблено в роботі [163]. Окрім казеїну молока та ізольованого соєвого протеїну, в якості зразків білків застосовували гідролізований білок м'яса птиці. Встановлено зниження розчинності молочного та соєвого білків на 15 та 24% відповідно.

Зниження вмісту амінного азоту дорівнювало 7, 3 та 2% відповідно. Доведено зниження емульгуючої здатності молочного та соєвого білків з одночасним зростанням стабільності емульсії. На відміну від цих білків, емульгуюча здатність м'ясного білка практично не змінилась.

Підводячи підсумок, можна констатувати, що ферментний препарат трансглютаміназа у процесі виробництва безглютенових хлібобулочних виробів виконує такі важливі функції, як збільшення об'єму, поліпшення текстури та збільшення терміну зберігання виробів. Проте залишається низка питань, які потребують негайного вирішення, а саме: необхідність суттєвого поліпшення структури безглютенових хлібопекарських виробів; пошук додаткових білкових джерел для підвищення ефективності дії ТГ та залучення нових товарних форм білків; подальше виявлення механізмів впливу на ТГ на білки рослинного та тваринного походження, а також на їх суміші.

Аналіз наявних досліджень, дозволяє зробити висновок, що наразі випадки целиакії в європейських країнах значно почастишали. Лікування целиакії можливо виключно дієтою. Врахування потреб таких людей у безпечній їжі вимагає системного підходу до створення різноманітних безглютенових харчових продуктів із виключенням навіть мікродоз глютену. Особливу увагу слід приділяти хлібопекарській продукції, яка є не тільки найбільш повсякденно вживаною, але й виступає головним джерелом глютену.

Виключення з обігу пшеничного борошна як стратегічно важливого та структуроутворюючого сировинного компонента хліба призводить до виникнення низки специфічних проблем для виробників безглютенової хлібопекарської продукції. Використання безклейковинного борошна в хлібопеченні є технологічно важким і для виконання різних технологічних функцій у процесі виробництва продуктів із дріжджового тіста необхідні різноманітні допоміжні засоби та певна кількість інгредієнтів, здатних його замінити.

Всебічний аналіз досвіду регулювання технологічних властивостей різної борошняної сировини свідчить, що втручання є доцільним і прийнятним на будь-якому з етапів борошномельного виробництва. Поліпшення якості без-

глютенової борошняної сировини відбувається найчастіше на етапі тістоприготування із застосуванням різних видів нативних крохмалів, безглютенового борошна, гідроколоїдів, білків та ферментних препаратів.

Використання ферментів у виробництві безглютенових хлібобулочних виробів досить довго було обмеженим, тому що багато комерційних ферментних препаратів містили пшеничне борошно або пшеничний крохмаль.

Трансглютаміназа – сучасний ферментний засіб, що використовується в процесі виробництва хлібобулочних виробів. Цей фермент може змінювати протеїни за рахунок утворення поперечних зв'язків. Він здатний виконувати важливі функції у процесі виробництва безглютенових хлібобулочних виробів щодо збільшення об'єму, поліпшення текстури та збільшення терміну їх зберігання.

Проте, залишаються актуальними наступні невирішені технологічні та комерційні питання виробництва і споживання безглютенових хлібобулочних виробів: необхідність суттєвого поліпшення структури виробів; пошук додаткових білкових джерел для підвищення ефективності дії ферментів та залучення нових товарних форм білків; виявлення механізмів впливу ферменту трансглютаміназа на білки рослинного та тваринного походження, а також на їх суміші.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Матеріали та об'єкти досліджень

Об'єктом досліджень була: технологія безглютенових хлібобулочних виробів.

Матеріалами досліджень були: КВБ «Геліос-11» (виробництво Україна) згідно з ТУ У 15.8 – 13848909-001-2008; КВБ Сканпро Т95 (виробництво Данія) за висновком гігієнічної експертизи №5.03.02-03/53649; желатин швидкорозчинний за ГОСТ 11293; ферментний препарат трансглютаміназа за висновком гігієнічної експертизи №05.03.02-03/32027; цукор білий кристалічний за ДСТУ 4623 - 2006, сіль поварена харчова за ДСТУ 3583-97, вода питна за ГОСТ 2874-82; дріжджі хлібопекарські пресовані згідно з ДСТУ 4812:2007; меланж яєчний рідкий пастеризований (охолоджений / заморожений) згідно з ТУ У 15.8-32086437-002:2007 / ГОСТ 30363-96; маргарин згідно з ДСТУ 4465:2005; рослинна олія згідно з ДСТУ 4492:2005; кунжут згідно з ДСТУ 7012:2009; молоко сухе згідно з ДСТУ 4565; сироватка молочна згідно з чинною нормативною документацією.

Фізико-хімічні, технологічні та органолептичні показники якості концентратів тваринних білків наведені в табл.2.1...2.5.

Таблиця 2.1

Характеристика органолептичних показників Геліос-11

Показник	Характеристика показника
Зовнішній вигляд	Порошкоподібний, однорідний
Колір	Світло-кремовий, однорідний по всій масі
Запах	Нейтральний
Смак	Нейтральний

Таблиця 2.2

Характеристика фізико-хімічних і технологічних показників Геліос-11

Найменування показника	Характеристика показника
Масова частка води, %	5,0
Масова частка жиру, %	0,5
Масова частка білка, %	93,8
Масова частка золи, %	0,7
Міцність драглі, утвореного 3%-им розчином білка, г/см ² за 20 °С	450
Значення рН 1%-го розчину	7,0±0,5

Таблиця 2.3

Характеристика органолептичних показників Сканпро Т 95

Показник	Характеристика показника
Зовнішній вигляд	Порошок тонкого помелу з розмірами часточок 100-105 мкм
Колір	Білий з кремовим відтінком
Запах	Нейтральний
Смак	Солонуватий або нейтральний

Таблиця 2.4

Характеристика фізико-хімічних показників Сканпро Т95

Найменування показника	Характеристика показника
Масова частка води, %	10,0
Масова частка жиру, % на СР	3,0
Масова частка білка, % на СР	95,5
Масова частка золи, % на СР	1,1

Таблиця 2.5

Характеристика технологічних показників Сканпро Т95

Найменування показника	Характеристика показника
Міцність драгля, утвореного 5%-вим розчином білка, *10 кг/м ² за температури 20 °С	750
Співвідношення «білок : жир : вода» у складі емульсії	1:15:15
Стійкість емульсії, %	95
Значення рН 1%-го розчину	7,0

Сумісне застосування ферменту трансглютаміназа з колагенвмісними білками у складі хлібопекарської продукції підтверджено отриманим висновком МОН України.

2.2. Методи досліджень сировини, напівфабрикатів та готових виробів

Експериментальні дослідження виконано на базі лабораторій Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (ХНТУСГ), Харківського державного університету харчування та торгівлі, Сумського національного аграрного університету, лабораторії якості зерна Інституту рослинництва ім. В.Я.Юр'єва НААНУ, Інституту монокристалів НАН України. Блок схема комплексних досліджень наведена на рис.2.1.

Відбір і підготовка проб сировини для лабораторних досліджень проводилась згідно з єдиною методикою вивчення харчових продуктів за ГОСТ 26668-85 (СТ СЭВ 3013-81), ГОСТ 26669-85 (СТ СЭВ 3014-81),

ГОСТ 27668-88. Дослідні та контрольні зразки готували з однієї партії сировини.

Органолептичні показники борошняних продуктів оцінювались за ГОСТ 27558-87, вологість борошна за ГОСТ 9404-88.

Дослідження ІЧ-спектрів здійснювались за допомогою аналізатора UR-20 (Німеччина) в інтервалі коливань від 400 см^{-1} до 4000 см^{-1} .

Гідротермічні властивості крохмалю досліджувались на амілографі фірми „Брабендер” [170].

Кількість зв'язаних іонів водню 1%-вої водно-борошняної суспензії визначали методом потенціометричного титрування [171]. Титрували 0,1н водними розчинами HCl і NaOH, застосовуючи рН-метр лабораторний “рН –50МИ” та магнітну мішалку Magnetic stirrer.

У розчині HCl концентрацією C_1 :

$$\text{pH}_1 = -\lg \alpha C_1 \quad (2.1)$$

У присутності білку в даному розчині концентрація іонів водню дорівнює C_2 ; $(c_1 - C_2)$ молей $[\text{H}^+]$ зв'язується білком. Тоді:

$$\text{pH}_2 = -\lg \alpha C_2 \quad (2.2)$$

З (2.1) та (2.2)

$$\lg (C_1/C_2) = \text{pH}_1 - \text{pH}_2 \quad (2.3)$$

Відповідно для гідроксильних іонів:

$$\lg (C_2/C_1) = \text{pH}_2 - \text{pH}_1 \quad (2.4)$$

За припущення рівності коефіцієнтів активності зі співвідношення (2.3) і (2.4) отримуємо:

- при титруванні кислотою кількість зв'язаних білком іонів водню $[\text{H}^+]$; моль/г) дорівнює

$$[\text{H}^+] = V / 10 \text{ g } (1 - 10^{(\text{pH}_\text{в} - \text{pH}_\text{р})}) \quad (2.5)$$

- при титруванні лугом кількість зв'язаних білком гідроксильних іонів ($[\text{OH}^-]$; моль/г) дорівнює:

$$[\text{OH}^-] = V / 10 g (1 - 10^{(\text{pH}_\text{р} - \text{pH}_\text{в})}) \quad (2.6)$$

де V – об'єм 0,1н розчину, доданого до 20 мл розчину, л;

g – маса білка у розчині, г;

$\text{pH}_\text{р}$, $\text{pH}_\text{в}$ – рН розчину ($V=20$ мл), рН води ($V=20$ мл) після додавання

$V_\text{л}$ реагенту відповідно.

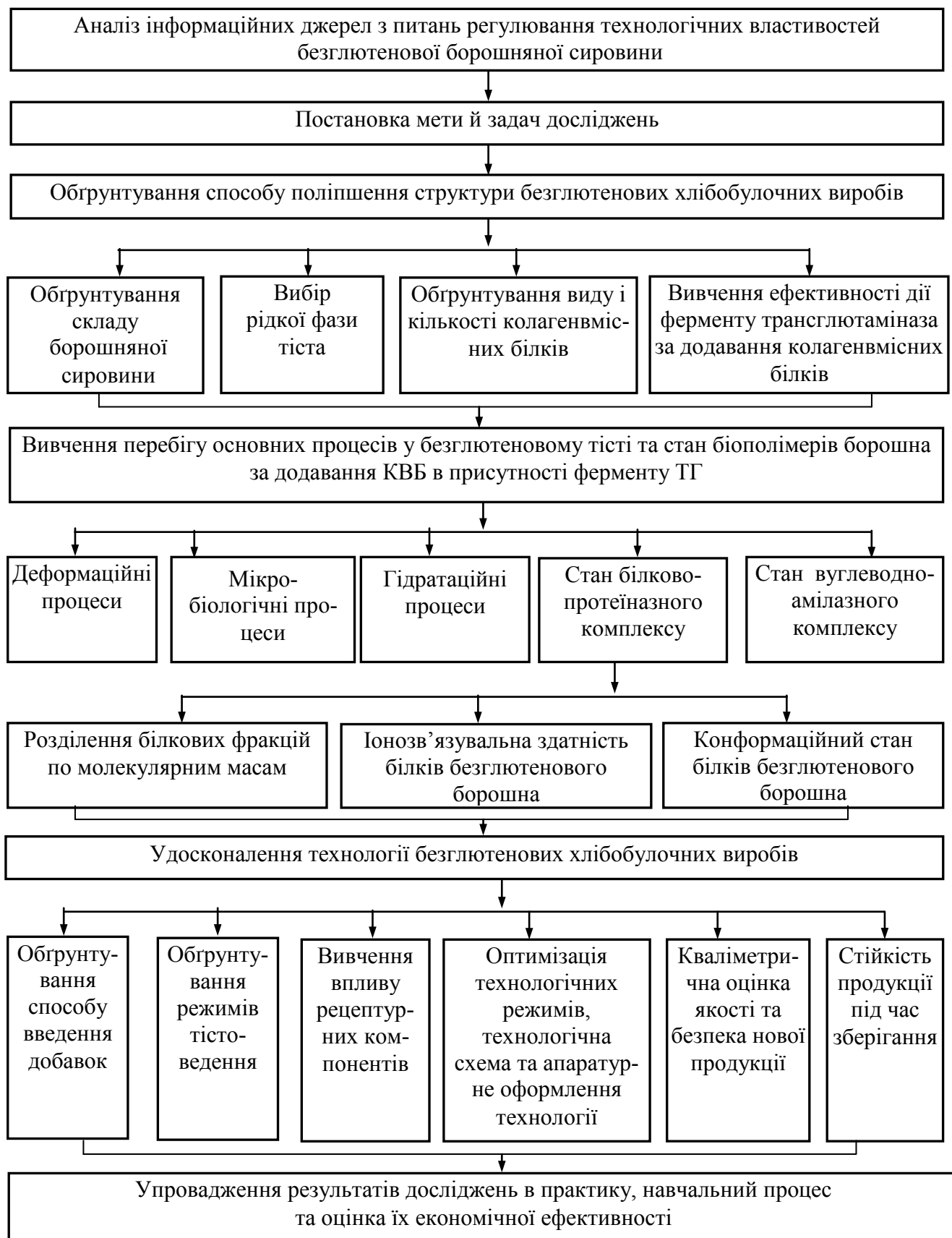


Рис.2.1. Блок схема комплексних досліджень

Фізичні властивості тіста у процесі замісу визначались на фаринографі фірми „Брабендер”. Реологічні характеристики тіста вивчались за допомогою напівавтоматизованого текстурометру [168]. Для визначення структурно-механічних показників будувалася залежність відносної деформації від часу дії напруги $\gamma = f(t)$ (рис. 2.2).

Відносну пружність визначається як відношення початкової деформації зразка до максимальної; відносну еластичність – як відношення різниці між максимальною та початковою сумісно з остаточною деформацією до максимальної (у відсотках).

На завантажувальній частині кривої відмічаються три ділянки: ділянка миттєво-пружної деформації, ділянка розвитку вискоеластичної деформації та ділянка течії системи, що відбувається зі загасаючою швидкістю. Через складності визначення на завантажувальній частині кривої $\varepsilon(\tau)$ окремо пружно-еластичні та залишкові пластичні деформації течії, останні знаходили, використовуючи розвантажувальну частину кривої.

Відносну деформацію визначали за формулою:

$$\gamma = \frac{k \cdot n}{d}, \quad (2.7)$$

де k – ціна поділки мікроскопа, м;

n – число поділок у шкалі мікроскопа;

d – товщина зразка, м.

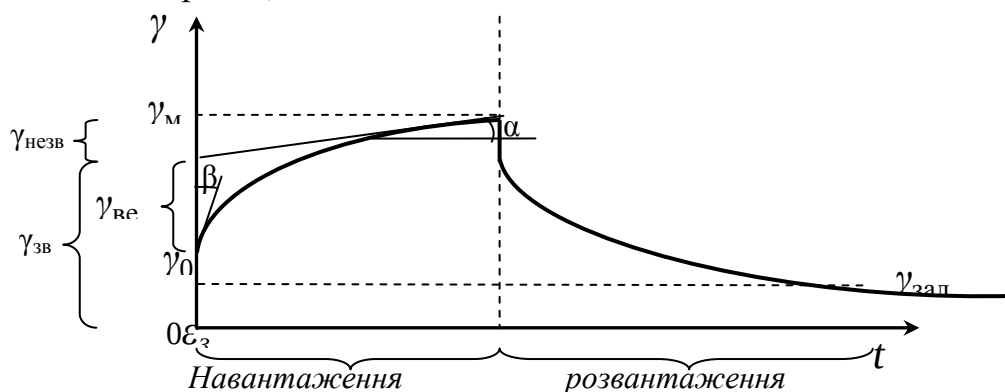


Рис.2.2. Крива повзучості дослідного зразка під дією прикладеної напруги зсуву (за навантаження та розвантаження)

Розділення загальної деформації на зворотну і незворотну проводилось шляхом екстраполяції лінійної ділянки графіку $\gamma = f(t)$ на вісь ординат. Коефіцієнт відношення зворотної деформації до загальної визначається за формулою:

$$K_{\gamma} = \frac{\gamma_{зв}}{\gamma_m}, \quad (2.8)$$

де $\gamma_{зв}$ – величина зворотної деформації;

γ_m – величина максимальної деформації.

Піддатливість системи визначали як:

$$I = \frac{\gamma_m}{\tau}, \quad (2.9)$$

де I – піддатливість системи, Па^{-1} ;

γ_m – відносна максимальна деформація.

Умовно миттєвий модуль пружності визначається за формулою:

$$G_{np} = \frac{\tau}{\gamma_0}, \quad (2.10)$$

де G_{np} – модуль миттєвої пружності, Па ;

γ_0 – відносна умовно-миттєва деформація.

Модуль еластичності визначається за формулою:

$$G_{el} = \frac{\tau}{\gamma_{ve}}, \quad (2.11)$$

де G_{el} – модуль еластичності, Па ;

γ_{ve} – відносна вискоеластична деформація.

Міцність адгезії тіста визначалась на адгезіометрі, принцип дії якого заснований на відриванні тіста від поверхні диска з фіксацією зусилля відриву ($F_{від.}$) [222].

Для вимірювання міцності тривалість контакту зразка з поверхнею диска складала 60с. Зусилля відриву розраховується на одиницю площі контакту за формулою:

$$F_{\text{від}} = \frac{mg}{S_k}, \text{ Па} \quad (2.12)$$

де: S_k – площа контакту, $S_k = 0,000615 \text{ м}^2$.

Вологоутримувальна здатність тіста під час сушіння визначалась ваговим методом на вагах-вологомірі ADGS 50. Титрована та активна кислотність тіста визначалась за стандартною методикою за ГОСТ 5898-68 [173]. Газоутворююча здатність та швидкість газоутворення у напівфабрикаті визначалась за методикою [174]. Тісто готувалось безопарним способом з вологістю 48% за рецептурою: борошно – 25,00 г; дріжджі пресовані з вологістю 75% – 0,625 г; сіль поварена харчова – 0,375 г. Об'єм CO_2 , що утримався під час бродіння в тісті, визначався візуально за допомогою мірного стакану як різниця між об'ємом тіста початковим та під час бродіння.

Розпливчастість кульки тіста визначалась спостереженням за зміною діаметра кульки тіста масою 100 г протягом 180х60с при температурі 30 °С відповідно [169].

Вміст цукрів у тісті визначався йодометричним напівмікрометодом [169].

Визначення загального і білкового азоту проводили мікрометодом Кьельдаля [175]. Розділення білків різних фракцій за молекулярною масою здійснювали в SDS-ПААГ в системі Лемлі [176]. Для візуалізації результатів електрофорезу використовували фарбування білків у гелях барвником Кумассі. В якості білків-маркерів використовували такі білки: фосфорілаза В (94000 Да), людський сироватковий альбумін (68000 Да), альбумін яєчний (43000 Да), міоглобін (17200 Да), цитохром с (12348 Да) - 2 мг / мл.

Органолептичну оцінку якості хліба визначали за шкалою оцінки якості, прийнятою в Центральній лабораторії Держкомісії. Вологість хліба визначали в сушильній шафі „Брабендер” за ГОСТ 21094-75. Об'єм готових виробів вимірювали об'ємомірником. Пористість готових виробів оцінювали на приладі Журавльова за ГОСТ 5669-51.

Титровану та активну кислотність хліба визначали за стандартною методикою за ГОСТ 5898-68. Структурно-механічні властивості готових виробів у процесі черствіння визначали на пенетрометрі АП - 4/2 [173].

Упік визначали як різницю між вагою тіста і гарячого хліба і виражали у відсотках до маси тіста. Усихання визначали як різницю між гарячим та остиглим хлібом, віднесену до маси гарячого хліба у відсотках. Вихід готових виробів визначали як відношення маси охолоджених виробів до маси борошна, витраченого на вироблення виробів, виражене у відсотках.

Мікробіологічні показники якості хлібобулочних виробів визначали згідно з ГОСТ 26670-91, ГОСТ 26972-86.

Масову частку цукру та жиру в готових хлібобулочних виробах визначали розрахунковим методом за таблицями хімічного складу харчових продуктів [177].

Комплексну оцінку якості виробів проводили із застосуванням методів кваліметрії [178].

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ПОЛІПШЕННЯ СТРУКТУРИ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

3.1. Проблема регулювання структурно-механічних властивостей безглютенового тіста як загальнонаукова системна задача

Для формування робочої гіпотези щодо можливості поліпшення структуроутворюючих властивостей безглютенової борошняної сировини вважали за доцільне застосування інструментарію системного підходу. На підставі відомих положень при вирішенні наукового завдання слід сформулювати його як конкретну наукову проблему і через абстрагування як загальносистемну.

Сформульоване нами наукове завдання – вибір добавок для поліпшення структури безглютенового тіста, підвищення якості безглютенової хлібопекарської продукції та наукове обґрунтування їх позитивного впливу на основні складові борошна та тіста.

Конкретна наукова проблема зумовлена відсутністю клейковини в безглютеновій борошняній сировині і пов'язана з необхідністю створення пористої, пружно-еластичної структури безглютенового тіста та готових хлібопекарських продуктів. Загальнонаукова проблема, яку потрібно розглянути і вирішити, – це слабкість просторової білкової мережі в безглютеновому тісті.

З метою утворення нової поліпшеної структури безглютенового тіста та хліба нами проведений аналіз і визначено кроки щодо регулювання структурно-механічних властивостей безглютенового тіста (рис.3.1). Вирішальними визначено три фактори впливу. Перший фактор – застосування борошняних сумішей, а не окремих видів безглютенового борошна. Це дозволяє суттєво поліпшити харчову та біологічну цінність, структуру хліба; розширити сировинну базу та асортимент готової продукції. Для створення рецептури безглютенового хліба можна застосовувати дійсно широке коло зернової сировини і борошняних

продуктів. Це – кукурудза, просо, овес, рис, сорго, тефф (teff), амарант, гречка, лобода (quinoa), бобові (legumes) та ін. [1, 179, 180].

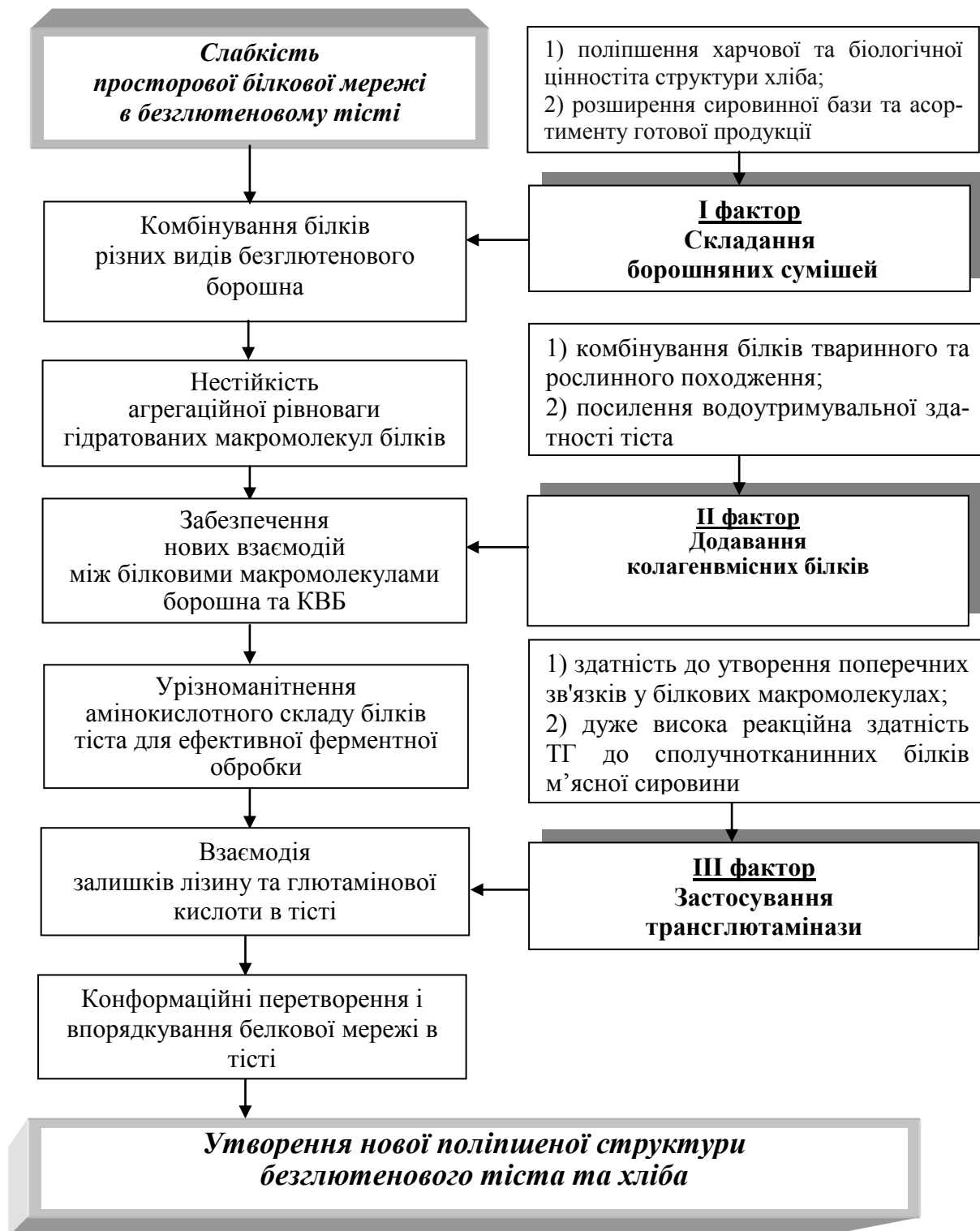


Рис.3.1. Обґрунтування способу регулювання структурно-механічних властивостей тіста

Жоден із видів безглютенового борошна не можна вважати еквівалентним за функціонально-технологічними властивостями пшеничному борошну. Проте, на відміну від пшеничного борошна, воно характеризується різноманітністю смаку і запаху. Безглютенові зернові культури мають високий технологічний потенціал, особливо для виробництва борошняних кондитерських виробів. Таке борошно характеризується доброю поживною та харчовою цінністю, бо його отримують зазвичай в обойний спосіб помелу. Допускається (а іноді й вітається) наявність у борошні природних пігментів, тому що рецептурою кондитерських виробів може бути передбачено використання іншої сировини з власним оригінальним кольором.

У ході розробки рецептур безглютенових хлібобулочних виробів найбільш пильної уваги, на наш погляд, заслуговують ті культури, які мають досить нейтральні смак і запах, що дозволяє використовувати їх без суттєвих кількісних обмежень у рецептурі зі збереженням високих органолептичних показників.

На сьогодні такі обмеження існують у рецептурах на базі пшеничного хліба. Вівсяне борошно замінюють пшеничним у кількості до 20% за умов підвищеної вологості тіста; іноді його заварюють знежиреним молоком [181, 182]. Рисове борошно використовують замість пшеничного до 8% [183] або вводять у вигляді заварки в концентраціях до 20% [184]; більш високі кількості (40% від маси борошняної сировини) потребують внесення добавок – комплексних покращувачів або ферментних препаратів [185]. Кукурудзяне борошно рекомендують піддавати попередній обробці: смажити, замочувати у воді з 0,3 % сірчаного газу, заварювати. Оброблене в такі способи борошно можна використовувати в концентраціях від 4...8 % (смажене) до 20...25 % (замочене) до маси пшеничного борошна першого сорту у хлібобулочних виробках [186], а також у суміші з соєвим борошном [187]. Гречане борошно вводять не більше 10...15% на заміну пшеничного [184], або не більше 16% при одночасному збільшенні вологості тіста до 48 % у виробництві житньо-пшеничного хліба [188]. Для створення ді-

етичних продуктів кількість гречаного борошна збільшується до 25 % [189]; пропонують термічну обробку гречки за 180...220 °C [190].

Між можливими двома варіантами створення безглютенових хлібобулочних продуктів (1 – з борошна одного виду; 2 – з суміші декількох) нами обрано другий напрям із міркувань підвищення харчової та біологічної цінності готової продукції, розширення сировинної бази та асортименту безглютенового хліба. Конкретно в якості борошняної сировини використовували борошно вівсяне, кукурудзяне, рисове. Питання, чи є овес безпечним для хворих на целіакію, було предметом дискусій протягом декількох десятиріч. Запасний білок вівса авенін може спричиняти певні проблеми для авенінчутливих пацієнтів, частина з яких можуть бути целіатіками [191]. Проте, численні наукові дослідження американських вчених доводять, що помірні кількості вівса є безпечними для дорослих, хворих на целіакію. Інше дослідження [192] щодо безпеки вівса для дітей вперше виявленою целіакією доводить, що вживання ними вівса протягом шести місяців є безпечним. Наразі переважна кількість авторитетних вчених і лікарів підтримують думку про те, що овес може бути небезпечним тільки в тому випадку, коли зернова партія містить домішки зерна пшениці. Тому рекомендовано застосовувати в безглютеновому харчуванні тільки сертифікований для цього овес. Зазначимо у зв'язку з цим, що в дисертаційній роботі встановлювалась ефективність застосування вівсяного борошна у складі сумішей для отримання нових наукових даних, проте основна частина досліджень проведена з рисовим та кукурудзяним борошном з урахуванням практичного стану справ.

Пошук добавок-поліпшувачів структури безглютенових хлібобулочних виробів проводився, виходячи з розуміння фундаментального механізму утворення безглютенового тіста. Згідно з сучасними науковими уявленнями, за відсутності гідратованої клейковинної мережі одним із важливих чинників оптимізації і стабілізації процесу утримання газу, утвореного в безглютеновому тісті, є достатня кількість води для гідратації біополімерів тіста для набуття тістом по-

трібної в'язкості. Підвищити гідратаційну здатність можна, наприклад, додаванням білкових речовин з вираженими драглеутворювальними властивостями.

З огляду на це, другий фактор – це додавання білків колагенвмісної м'ясної сировини КВБ. Окрім посилення водоутримувальної здатності тіста, цей крок дозволяє комбінувати білки тваринного походження з рослинними білками борошна. А урізноманітнення амінокислотного складу білків тіста безумовно сприятиме ефективній ферментній обробці.

Як третій фактор запропоновано застосування ферменту трансглютаміназа, здатного до утворення поперечних зв'язків у білкових макромолекулах. І головне – у нього дуже висока реакційна здатність до сполучнотканинних білків м'ясної сировини.

Таким чином, для обґрунтування способу поліпшення структури безглютенових хлібобулочних виробів вважається за необхідне обґрунтувати: склад безглютенової борошняної сировини і вид рідкої фази; ефективність застосування добавок-структуроутворювачів (колагенвмісних білків, ферменту ТГ).

3.2. Обґрунтування складу борошняної сировини і вибір рідкої фази тіста

На першому етапі досліджень встановлювали вплив складу безглютенової борошняної сировини на органолептичні та структурно-механічні властивості хлібобулочних виробів.

Досліджували зразки виробів з окремих видів борошна та борошняних сумішей, у яких кількість кожного окремого виду борошна у складі суміші варіювали від 10 до 90%. У ході лабораторних випікань виявлено недоцільність застосування будь-якого одного виду борошна через невисоку якість органолептичних властивостей, серед яких: темно-сірий колір м'якушки (у хліба з вівсяного борошна); наявність характерного яскравого присмаку, неприйняттого для щоденного вживання (у хліба з рисового борошна); незадовільна розпушеність м'якушки (у хліба з кукурудзяного борошна).

Таким чином, застосування як борошняної сировини борошняних сумішей є більш доцільним з точки зору покращення органолептичних показників хліба, а також для підвищення ефективності дії ферментного препарату в подальшому, оскільки значення має вид білка та різноманіття його амінокислотного складу.

Експериментально встановлено також раціональність підходу до обґрунтування складу борошняної суміші на основі базового компоненту з вмістом не менше 50% (будь-який вид окремого безглютенового борошна), що дозволяє сформувати характерний смак і колір хлібобулочних виробів. Результатидослідження якості хліба, виготовленого з борошняних сумішей на основі кукурудзяного (або рисового, або вівсяного борошна) в кількості 50% за додавання двох інших видів борошна (у співвідношенні 1:1) представлені на рис.3.2...3.4 та в табл.3.1.

Таблиця 3.1

Показники якості хліба з різної борошняної сировини

Показник	Склад борошняної суміші		
	50% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна, 25% вівсяного борошна	50% рисового борошна, 25% кукурудзяного борошна, 25% вівсяного борошна	50% вівсяного борошна, 25% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна
Питомий об'єм, $V_{\text{пит}} \times 10^3, \text{ м}^3/\text{кг}$	2,5±0,1	2,8±0,1	2,7±0,1
Пористість, %	63±2	67±2	65±2
Колір скоринки	Жовто-коричневий	Жовтий	Жовтувато-сірий
Стан м'якушки	Жовтуватого кольору, гливка, низько-еластична, пропечена, непроміс відсутній	Світло-жовтуватого кольору, середньо-еластична, пропечена, непроміс відсутній	Сіро-жовтого кольору, низько-еластична, пропечена, непроміс відсутній
Смак і запах	Нейтральний, з легким ароматом і присмаком кукурудзи	Нейтральний, з легким ароматом і присмаком рису	Нейтральний, без сторонніх
Характер Пористості	товстостінна, неоднорідна	дрібна неоднорідна	дрібна неоднорідна
Зовнішній Вигляд	Рис.3.1	Рис.3.2	Рис.3.3

Можна рекомендувати використовувати як основу борошняної суміші рисове або вівсяне борошно в кількості 50% із додаванням інших видів безглютенового борошна. Збільшення кількості вівсяного борошна призводить до суттєвого погіршення кольору м'якушки (до темно-сірого); рисового борошна – до послаблення забарвлення скоринки та наявного рисового присмаку.



Рис.3.2. Зовнішній вигляд хліба (переріз) з 50% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна, 25% вівсяного борошна



Рис.3.3. Зовнішній вигляд хліба (переріз) з 50% рисового борошна, 25% кукурудзяного борошна, 25% вівсяного борошна



Рис.3.4. Зовнішній вигляд хліба (переріз) з 50% вівсяного борошна, 25% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна

Стосовно кукурудзяного борошна, його кількість в нативному вигляді у рецептурі не повинна перевищувати 25...30%. Збільшення частки цього борошна вище вказаних меж є цілком можливим, але його слід додатково обробляти (зокрема, нами обрано заварювання) для запобігання надмірної крихкості м'якушки.

Також за складом борошняна суміш може бути двокомпонентною. Нами отримано позитивні результати для сумішей «борошно кукурудзяне: борошно рисове» у співвідношеннях 50:50 та 30:70, які покладено в основу рецептур безглютенових хлібобулочних виробів. Різноманіття органолептичних показників хліба, хлібців та булочок забезпечується присутністю інших рецептурних компонентів (молочних, яєчних, смакових та ін.).

У якості рідкої фази хлібного тіста застосовують у більшості випадків воду, а також молоко, сироватку, фруктові або овочеві соки для часткової або повної заміни води. У наших дослідженнях ми застосовували як рідку фазу воду та молоко. Показники якості хліба з суміші на основі вівсяного борошна наведено на рис.3.5 та в табл.3.2.

Таблиця 3.2

Показники якості хліба з різної борошняної сировини

Показник	50% вівсяного борошна, 25% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна	
	На воді	На молоці
Питомий об'єм, $V_{\text{пит}}$, см ³ /г	2,8±0,1	2,5±0,1
Пористість, %	66±2	63±2
Колір скоринки	Жовтувато-сірий	Яскраво-жовтий
Стан м'якушки	Сіро-жовтого кольору, низько-еластична,	Неоднорідного жовтуватого кольору, ущільнена, нееластична
Смак і запах	Нейтральний, без сторонніх	Нейтральний, з легким ароматом і присмаком рису
Характер пористості	дрібна неоднорідна	дрібна неоднорідна
Зовнішній вигляд	Рис.3.4 а	Рис.3.4 б



А

Б

Рис.3.5. Зовнішній вигляд та переріз хліба з борошняної суміші (на прикладі 50% вівсяного борошна, 25% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна) на воді (а) та молоці (б)

Для інших видів борошняної суміші встановлено, що за використання молока в якості рідкої фази структура м'якушки дещо покращується – пористість стає більш рівномірною, дрібною, але дещо ущільненою; скоринка стає більш яскравою, набуває приємного яскраво-золотавого кольору. Проте, м'якушка суттєво за кольором не змінюється. У разі застосування води та молока у співвідношенні 1:1 показники якості мають проміжні значення між результатами за використання води або молока окремо.

3.3. Вибір добавок регуляторів структури безглютенового тіста та хлібобулочних виробів

Пошук добавок-поліпшувачів структури безглютенових хлібобулочних виробів проводився на підставі розуміння фундаментального механізму утворення безглютенового тіста [1, 193]. Згідно з сучасними науковими уявленнями, за відсутності в безглютеновому борошні гідратованої клейковинної мережі, що зазвичай формує просторову структуру пшеничного тіста, одним з важливих чинників оптимізації і стабілізації процесу утримання бульбашок газу, утворених в тісті, є достатня кількість води для гідратації біополімерів тіста для набуття тістом потрібної в'язкості.

Зрозуміло, що підвищити гідратаційну здатність борошняного тіста можна, наприклад, додаванням білкових речовин із вираженими драглеутворювальними властивостями або використанням речовин полісахаридної природи, які добре гідратуються в холодній або теплій воді (на відміну від звичайного крохмалю, клейстеризація якого виявляється з підвищенням температури до 40...42°C і вище).

Нами обрано напрям застосування білкових добавок (враховуючи їхню здатність не тільки виконувати функцію коректора структури, але й впливати на харчову і біологічну цінність хліба) разом із ферментом трансглютаміназа (спираючись на її здатність змінювати протеїни за допомогою амінування, або через утворення поперечних зв'язків, або через дезамінування).

За додавання ТГ утворення поперечних зв'язків відбувається тоді, коли аміногрупи залишків лізину у протеїнах діють як ацилові акцептори. При цьому утворюються всередині міжмолекулярні Lys-зв'язки (ізопептидні зв'язки) [111]. За відсутності первинних амінів у реакційній системі вода виконує функцію ацилового акцептора. Внаслідок цього відбувається дезамінування залишків глютаміну. ТГ може стати каталізатором вбудовування первинних амінів у протеїни. Вона здатна зв'язувати протеїни різного походження: казеїни і альбуміни з молока, тваринний білок з яєць і м'яса, соєвий і пшеничний протеїн [103,106].

Трансглютаміназу пропонують застосовувати для виробництва безглютенового хліба [156] для поліпшення структурно-механічних властивостей м'якушки. Проте, ефективність її дії не можна вважати достатньо високою. Про це свідчать дані, наведені в роботі [156]. Слід зазначити, що нами отримано подібні дані щодо дії ферменту ТГ як поліпшувача для безглютенового хліба. Зовнішній вигляд хліба (у перерізі) з борошняної суміші на основі вівсяного борошна наведено на рис.3.6.

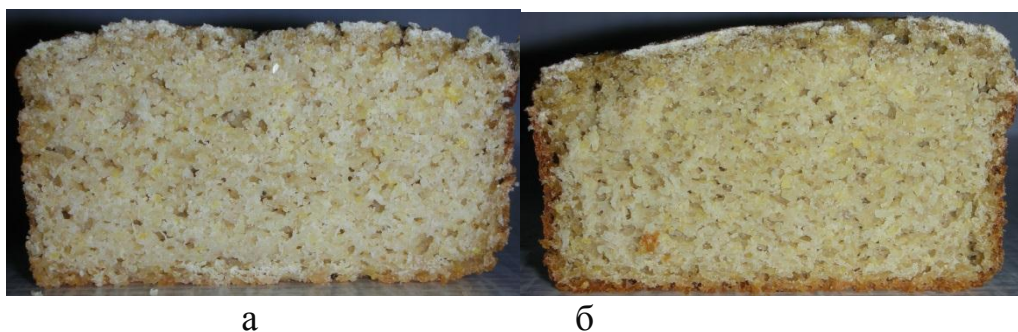


Рис.3.6. Зовнішній вигляд хліба (переріз) зі складом борошняної сировини 50% вівсяного борошна, 25% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна на воді без ТГ (а) та з додаванням 0,1% ТГ (б)

Порівняння зразків, наведених на рис.1.3 та 3.6, показує, що загальною тенденцією є покращання пористості і питомого об'єму хліба. Проте, очевидним є той факт, що застосування борошняної суміші (рис. 3.6, а) в порівнянні з будь-яким одним видом безглютенового борошна (рис. 1.3) є більш ефективним. Проте, з метою подальшого покращання об'єму, пористості та зовнішнього вигляду хлібобулочних виробів необхідні новітні технологічні рішення.

Таким чином, метою пошуку ефективних комбінацій білкових поліпшувачів із ферментом ТГ для борошняних сумішей дослідження проводилось у два етапи: 1 – досліджували вид і кількість білкової добавки, зокрема колаген-місні білки (КВБ) – желатин, Сканпро Т95, Геліос-11; 2 – вивчали ефективність комбінування білкових поліпшувачів із ферментом ТГ.

3.3.1. Обґрунтування виду і кількості колагенвмісних білків

На першому етапі досліджували структуроутворювачі: желатин у вигляді водного розчину з концентрацією від 1,0 до 3,0%; Сканпро Т95 та Геліос-11 у сухому вигляді в кількості від 1,0 до 2,0% до маси борошна. Верхня межа концентрації водного розчину желатину обрана з урахуванням запобігання процесу можливого драглеутворення, а також з рекомендованими кількостями КВБ (1...2% до маси борошна) у складі хліба зі слабого пшеничного борошна. Більш високі кількості призводять до небажаного ущільнення м'якушки.

Структурно-механічні показники якості хлібобулочних безглютенових виробів (склад борошняної суміші – 50% вівсяного борошна, 25% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна) за даними пробних лабораторних випікань наведені в табл.3.3.

Таблиця 3.3

Структурно-механічні показники якості безглютенових хлібобулочних виробів з борошняної суміші з додавання КВБ

Вид добавки	Концентрація водного розчину, %	Кількість до маси борошна, %	Питомий об'єм хліба, $V_{\text{пит}} \times 10^3, \text{м}^3/\text{кг}$	Пористість м'якушки, %
Без добавки	-	-	2,8±0,05	66±1
Желатин	1,0	-	2,9±0,05	66±1
	2,0	-	3,05±0,08	68±1
	3,0	-	3,2±0,10	70±1
Сканпро Т95	-	0,5	3,0±0,05	67±1
	-	1,0	3,3±0,10	71±1
	-	2,0	3,0±0,10	69±1
Геліос 11	-	0,5	3,2±0,10	69±1
	-	1,0	3,6±0,11	73±1
	-	2,0	3,7±0,11	73±1

Як свідчать експериментальні дані, і вид, і концентрація добавки помітно змінює структурно-механічні показники якості хліба. Будь-яку добавку мо-

жна вважати поліпшувачем, проте за ефективністю дії реверсний ряд виглядає наступним чином: Геліос 11 > Сканпро Т95 > желатин. Так, за додавання 1...2% Геліос 11 питомий об'єм хліба зростає на 25...27%, Сканпро Т95 – на 12...13%, 3%-вого розчину желатину – на 11%.

У разі застосування борошняної суміші на основі кукурудзяного борошна на дія КВБ виявляється подібною вищевказаній (рис.3.6).



50% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна, 25% вівсяного борошна



1% Геліос 11



1% Сканпро Т95



2% Геліос 11



2% Сканпро Т95

Рис.3.7. Зовнішній вигляд хліба (переріз) зі складом борошняної сировини 50% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна, 25% вівсяного борошна з додаванням різного виду і кількості КВБ

Таким чином, всі добавки КВБ досить ефективно діють на якість безглютенових хлібобулочних виробів – помітно зростає об'єм виробів, їх форма і зовнішній вигляд, поліпшується пористість.

3.3.2. Вивчення ефективності дії ферменту трансглютаміназа за додавання колагенвмісних білків

Основною метою застосування ферменту ТГ є подальше поліпшення і стабілізація структури безглютенових хлібобулочних виробів. Враховуючи прогнозовану нами добру реакційну здатність ферменту ТГ з КВБ та білками борошна, метою наступного етапу дослідження було обґрунтування складу можливих комбінацій цих поліпшувачів для створення комбінованих білок-білкових харчових систем (з використанням протеїнів рослинного та тваринного походження) для ефективної участі в них ферменту ТГ в технології безглютенового хліба. Дані представлені в табл.3.4 та на рис.3.8.



3%-вий водний розчин желатину



3%-вий водний розчин желатину + ТГ



1% Геліос-11



1% Геліос-11+ ТГ

Рис.3.8. Зовнішній вигляд хліба (переріз) зі складом борошняної сировини 50% вівсяного борошна, 25% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна з використанням трансглютамінази

Таблиця 3.4

Структурно-механічні показники якості хліба з борошняної суміші на основі вівсяного борошна з додаванням КВБ і ферменту ТГ

Вид і кількість добавки	Кількість ТГ, % до маси борошняної си- ровини	Питомий об'єм хліба, $V_{\text{пит}} \times 10^3, \text{ м}^3/\text{кг}$	Пористість, м'якушки, %
Без добавки	-	$2,80 \pm 0,05$	66 ± 1
Желатин 3,0%	0	$3,20 \pm 0,10$	70 ± 1
	0,05	$3,80 \pm 0,15$	76 ± 1
	0,10	$3,95 \pm 0,15$	78 ± 1
	0,15	$3,96 \pm 0,15$	78 ± 1
Сканпро Т95 1,0%	0	$3,26 \pm 0,10$	71 ± 1
	0,05	$3,85 \pm 0,11$	77 ± 1
	0,10	$4,00 \pm 0,11$	78 ± 1
	0,15	$3,98 \pm 0,10$	78 ± 1
Геліос 11 1,0%	0	$3,60 \pm 0,11$	73 ± 1
	0,05	$3,90 \pm 0,16$	77 ± 1
	0,10	$4,10 \pm 0,16$	78 ± 1
	0,15	$4,05 \pm 0,15$	78 ± 1

Якщо у складі хлібобулочних виробів застосовувати джерела додаткового білка (желатин, Геліос 11, Сканпро Т95), то ТГ діє помітно ефективніше. Вироби мають гладку поверхню, еластичну м'якушку з приємним світло-жовтим кольором, рівномірну пористість. Введення ТГ в кількості більше 0,1% до маси борошна є недоцільним, що видно з табл.3.4.

Таким чином, проведені дослідження доводять ефективність застосування ферменту ТГ, особливо в композиції з білками тваринного і рослинного походження, покращуючи структурно-механічні та органолептичні показники безглютенових виробів.

Застосування безглютенових борошняних сумішей для вироблення безглютенових хлібобулочних виробів є більш доцільним порівняно з використанням одного виду безглютенового борошна, що дозволяє більш раціонально використати наявну в агропромисловому комплексі країни зернову сировину; по-

ліпшити структурно-механічні властивості безглютенового тіста та готових виробів; підвищити харчову та біологічну цінність виробів за рахунок комбінування різних видів борошна; розширити асортимент безглютенових хлібобулочних виробів.

За основу борошняної сировини рекомендовано застосовувати борошняні суміші з базовим компонентом у кількості не менше 50% для запобігання погіршення кольору м'якушки, послаблення забарвлення скоринки та ін. Кукурудзяне борошно, якщо його кількістю складі борошняної суміші перевищує 25...30%, потребує вживання додаткових технологічних заходів для запобігання надмірній крихкості м'якушки.

У якості коректора структури безглютенових хлібобулочних виробів рекомендовано застосовувати фермент трансглютаміназу, який здатний змінювати протеїни через утворення додаткових поперечних зв'язків. Враховуючи, що цей фермент має різну реакційну здатність із різними білками, для забезпечення найвищої реакційної здатності обрано білки, отримані шляхом переробки вторинної м'ясної сировини, а саме желатин, Геліос 11 (виробництва України), Сканпро Т 95 (виробництва Данії).

Усі білкові добавки (у досліджених кількостях до маси борошняної сировини) ефективно впливають на якість безглютенових хлібобулочних виробів – помітно зростає їх об'єм, форма і зовнішній вигляд, поліпшується пористість. За ефективністю дії реверсний ряд виглядає наступним чином: Геліос 11 > Сканпро Т95 > желатин. Питомий об'єм виробів збільшується на 15...25% щодо контрольного зразка без добавок, пористість – на 4...6 абс.%.

Застосування ферменту ТГ в кількості 0,05...0,10% до маси борошна призводить до подальшого покращення структури безглютенових виробів – питомий об'єм їх зростає на 40...45%, пористість на 10...12 абс.%.

Результати власних досліджень, наведених у розділі 3, опубліковані в роботах [195, 196, 197, 198, 199, 200].

РОЗДІЛ 4

ВИВЧЕННЯ ПЕРЕБІГУ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ У БЕЗГЛЮТЕНОВОМУ ТІСТІ ТА СТАН БІОПОЛІМЕРІВ БОРОШНА У ПРИСУТНОСТІ ТРАНСГЛЮТАМІНАЗИ І БІЛКОВИХ ДОБАВОК

Дослідженнями показників якості хлібобулочних виробів з безглютенової борошняної сировини (розділ 3) доведено необхідність і можливість регулювання структурно-механічних властивостей тіста та хлібобулочної продукції.

Детального дослідження потребує перебіг процесів тістоутворення (фізико-хімічних, біохімічних, реологічних і мікробіологічних процесів, що є визначальними під час замішування і бродіння, формування і розстоювання тіста), теплової обробки тістової заготовки (вивчення гідратаційних процесів, що впливають на втрати вологи під час випікання).

Ретельне вивчення стану білково-протеїнажного та вуглеводно-амілазного комплексів борошна дозволить усвідомлено керувати цими процесами та обґрунтувати технологічні режими виробництва хліба, умови і терміни зберігання готової продукції.

4.1. Вивчення деформаційних процесів у безглютеновому тісті

Будь-яке борошняне тісто володіє водночас пружно-еластичними та пластично-в'язкими властивостями, що знаходяться в певному ступені збалансованості і дозволяють вирішувати різні технологічні завдання.

Явище пружності сприяє збереженню заданої форми заготовок після формування, але перешкоджає розвитку об'єму тіста, процесу формування заготовок. Пружні властивості притаманні багатьом коагуляційним системам, наприклад, зернам набухлого крохмалю борошна. Вуглеводи є активними структуроутворювачами в тісті, що складається з набухлих у воді клейковинних білків. Активність вуглеводів виявляється через певні взаємодії з водою,

білками, жирами та ліпоїдами, які впливають на пружно-пластичні властивості тіста [202]. Клітковина підвищує вологоємкість борошняного тіста, його пружно-в'язко-пластичні характеристики. Низькомолекулярні водорозчинні сполуки, навпаки, пластифікують тісто, знижуючи його пружні характеристики.

Еластичність тіста зумовлює утворення та збереження піноподібної структури при бродінні тіста, розробці та випічці тістових заготовок, але перешкоджає правильному розділенню на шматки та збереженню створеної форми шматка тіста. Білки володіють еластичними властивостями, які залежать від вмісту неполярних атомних угруповань, що характеризуються слабкими дисперсійними зв'язками. Такі властивості білків, як пружність і міцність, зумовлені ковалентними зв'язками первинної структури білків, складною конформаційною будовою їх макромолекул.

Щодо безглютенового тіста, то здебільшого виявляється дисбаланс між цими властивостями, який потрібно усунути, що є одним із поставлених нами технологічних завдань даного дисертаційного дослідження.

Переважання в рецептурі рисового борошна посилює в тісті пластичні властивості, кукурудзяного борошна – пружні. Проте, якісну структуру тіста та м'якушки хліба, його зовнішній вигляд і форму, тощо, можуть забезпечити розвинені еластичні властивості, забезпечені модифікацією білкових речовин борошна (як основної сировини у виробництві хліба).

Тому метою наступного етапу досліджень було вивчення можливості регулювання пружно-еластичних і пластично-в'язких властивостей безглютенового борошняного тіста за допомогою колагенвмісних білків і ферменту трансглютамінази.

Об'єктами досліджень обрано різну борошняну сировину –рисове та кукурудзяне борошно та їх суміш 1:1, колагенвмісні білки (желатин, Сканпро Т95, Геліос-11) та фермент трансглютаміназу. Вологість тіста дорівнювала 51%. Структурно-механічні властивості тіста досліджували при навантаженні-розвантаженні на напіваавтоматизованому текстурометрі для визначення структурно-механічних показників харчових продуктів [172].

Криві залежностей деформації ϵ від її тривалості τ для свіжезамішаного бездріжджового тіста (через 15х60с після замісу) представлено в Додатку А, результати їх обробки – в табл. 4.1...4.2. Враховували протікання ферментативного процесу наступним чином: для розрахунків залучали дані деформації на початку процесу навантаження зразка (без ТГ та з додаванням ТГ, тобто тривалість процесу ферментації відбувалась протягом 15х60с відлежування), а загальна тривалість деформаційного процесу дорівнювала 40х60с, що можна співставити з тривалістю бродіння безглютенового хлібного тіста. Такми чином, застосовували таку тривалість ферментативної обробки тіста (в межах 55...60х60с), яку можливо забезпечити в ході технологічного процесу для досягнення певного технологічного ефекту від дії ТГ.

Результати даних, що наведені в табл.4.1, свідчать, що тісто з рисового борошна характеризується дуже високою відносною пластичністю (близька 90%) та низькими пружністю та еластичністю (1% та 9,5% відповідно).

Таблиця 4.1

Характеристика реологічних показників тіста з рисового борошна з додаванням КВБ та ТГ (рівень надійності 0,95)

Склад зразка	Деформація, 10^{-4} м			Відносна, %		
	E_0	E_m	$E_{\text{зал.}}$	пла- стич- ність	пруж- ність	ела- стич- ність
Борошно рисове (Брис)	1,54	3,38	3,01	89,1	1,5	9,5
Брис + 0,1% ТГ	1,27	2,63	2,33	88,6	5,3	6,1
Брис + 0,5% Сканпро Т95	1,38	2,67	2,16	80,9	4,9	14,2
Брис+0,5% Сканпро Т95+0,1%ТГ	0,93	1,91	1,57	82,2	2,1	15,7
Брис + 0,5% Геліос 11	0,5	2,21	1,89	85,5	2,7	11,8
Брис + 0,5% Геліос 11+ 0,1% ТГ	0,29	1,87	1,54	82,4	1,7	17,0
Брис + 3% желатин	1,32	2,61	2,34	89,7	0,4	10,0
Брис + 3% желатин+ 0,1% ТГ	0,88	1,57	1,31	83,4	4,5	12,1

Таблиця 4.2

Характеристика реологічних показників тіста з кукурудзяного борошна з додаванням КВБ та ТГ (рівень надійності 0,95)

Склад зразка	Деформація, 10^{-4} м			Відносна, %		
	E_0	E_m	$E_{зал.}$	пластичність	пружність	еластичність
Борошно кукурудзяне (Бкук)	1,43	2,76	2,15	77,9	1,1	21,0
Бкук + 0,1% ТГ	0,9	2,36	1,75	74,2	10,6	15,3
Бкук + 0,5% Сканпро Т95	0,8	2,75	2,22	80,7	8,7	10,5
Бкук+0,5% Сканпро Т95+0,1%ТГ	0,65	2,32	1,85	79,7	1,7	18,5
Бкук + 0,5% Геліос 11	0,84	2,33	1,84	79,0	9,0	12,0
Бкук + 0,5% Геліос 11+ 0,1% ТГ	0,29	1,87	1,54	82,4	8,0	9,6
Бкук + 3% желатин	0,73	2,7	2,26	83,7	11,1	5,2
Бкук + 3% желатин+ 0,1% ТГ	0,62	2,31	1,94	84,0	7,8	8,2

Застосування колагенвмісних білків помітно впливає на здатність тіста до вискоеластичної деформації – відносна еластичність зростає до 10...14% залежно від виду добавки здебільшого за рахунок зниження відносної пластичності тіста. Застосування ферменту ТГ посилює вказані тенденції – відносна пружність до 10...11 %, еластичність до 15...18%.

Отримані дані щодо впливу виду борошна та ферменту ТГ узгоджуються з результатами інших дослідників. Так, дослідженнями авторів [156] доведено, що незалежно від кількості ферменту ТГ, якщо його додавати до безглютенового тіста, пружність та еластичність тіста зростають. Але значення має вид зернової сировини: у тісті з гречаного або рисового борошна з підвищенням кількості ферменту зростає внесок еластичних деформацій. У разі застосування кукурудзяного борошна за будь-якого рівня ферменту зменшується супротив деформації тіста. У тісті з соргового борошна тільки за високої кількості ТГ відбувається зростання еластичності. Жодного впливу не встановлено в тісті з метлічки (teff). Таким чином, має місце посилення пружно-еластичних властивостей білків борошна й тіста в цілому, а також зниження

пластичних характеристик. Ми припускаємо можливість зміни конформаційного стану білкових речовин борошна та утворення додаткових міжмолекулярних зв'язків. Білкові макромолекули здатні перетворюватися на більш жорсткі та міцні конформаційні утворення з більш упорядкованою просторовою структурою та значно нижчою текучістю.

Щодо кукурудзяного борошна (табл.4.2), то зростання пружності здебільшого відбувається за рахунок зниження еластичних властивостей. Це можна пояснити особливостями білкового комплексу кукурудзяного борошна [1]. До того ж, у ході лабораторних випікань встановлено, щотісто на основі кукурудзяного борошна (якщо його кількість суміші перевищує 25...30%) відрізняється за структурою і потребує додаткових технологічних засобів, зокрема, заварювання третини борошна.

Структурно-механічні показники безглютенового тіста на основі рисового та кукурудзяного борошна, наведені в табл.4.3 та 4.4, підтверджують вищевикладене. Зростає модуль еластичності тіста (з будь-якого виду борошна) за додавання КВБ та ферменту. Одночасно збільшується умовно миттєвий модуль пружності та знижується піддатливість тіста.

Таблиця 4.3

Структурно-механічні показники безглютенового тіста на основі рисового борошна (рівень надійності 0,95)

Склад зразка	Піддат- ливість, $\times 10^{-3}$, Па ⁻¹	Модуль- еластич- ності, Па	Умовно мит- тєвий модуль пружності, Па
Брис	5,17	1768	425
Брис + 0,1% ТГ	4,02	2180	515
Брис + 0,5% Сканпро Т95	4,08	1282	474
Брис + 0,5% Сканпро Т95 + 0,1% ТГ	2,92	1924	703
Брис + 0,5% Геліос 11	3,38	2044	1308
Брис + 0,5% Геліос 11 + 0,1% ТГ	2,86	1982	2255
Брис + 3% желатин	3,99	2422	495
Брис + 3% желатин + 0,1% ТГ	2,40	2515	743

Таблиця 4.4

**Структурно-механічні показники безглютенового тіста на основі
кукурудзяного борошна (рівень надійності 0,95)**

Склад зразка	Піддат- ливість, $\times 10^{-3}$, Па ⁻¹	Модуль еластич- ності, Па	Умовно мит- тєвий модуль пружності, Па
Бкук	4,22	1072	457
Бкук + 0,1% ТГ	3,61	1172	727
Бкук + 0,5% Сканпро Т95	4,20	1234	818
Бкук + 0,5% Сканпро Т95+ 0,1% ТГ	3,55	1391	1006
Бкук + 0,5% Геліос 11	3,56	1335	779
Бкук + 0,5% Геліос 11+ 0,1% ТГ	2,86	1982	2255
Бкук + 3% желатин	4,13	1486	896
Бкук + 3% желатин+ 0,1% ТГ	3,53	1768	1055

Таким чином, за результатами реологічних досліджень можна констатувати, що загалом підтверджено рекомендовану кількість добавок-регуляторів структури: желатину – у вигляді 2...3% водного розчину (як рідка фаза тіста); добавки Геліос 11 та Сканпро Т95 – 1...2% до маси борошна; фермент ТГ – 0,05...0,10% до маси борошна.

У табл. 4.3...4.5 наведено основні структурно-механічні показники безглютенового тіста з різної борошняної сировини з використанням КВБ та ферменту ТГ. Наявність у безглютеновому тісті дріжджів і продуктів їх життєдіяльності, рекомендованатривалість бродіння тіста є важливими технологічними чинниками, під впливом яких комплекс структурно-механічних властивостей тіста змінюється. Тому ефективність дії добавок на структурно-механічні властивості тіста має бути доведеною протягом щонайменше однієї-двох годин, оскільки в технології безглютенових хлібобулочних виробів передбачено бродіння та розстоювання тіста. На рис.4.1 наведені дані щодо розпливчастості кульки тіста (на основі різної борошняної сировини) за сумісного введення добавок (на прикладах: 3% желатин – з рисовим борошном,

1,0% Сканпро Т95 – з кукурудзяним борошном, Геліос 11 – з борошняною сумішшю).

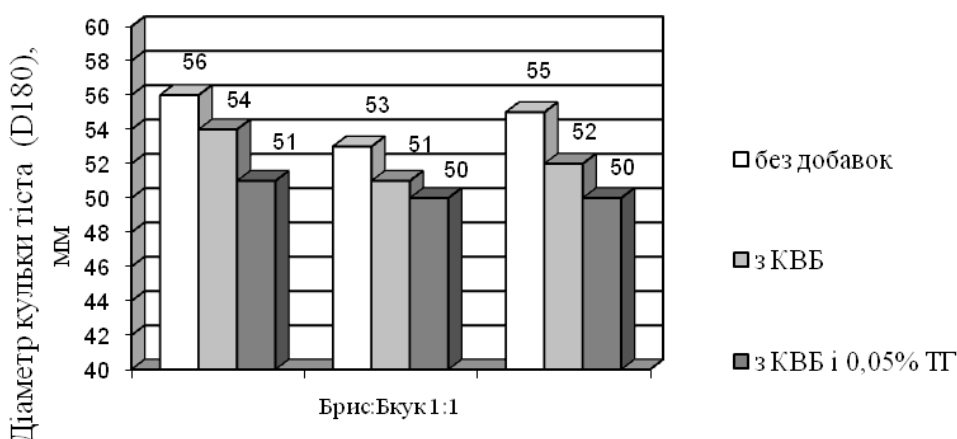


Рис.4.1.Розпливчастість кульки тіста з безглютенової борошняної сировини борошна з додаванням КВБ і ферменту ТГ

Як свідчить експеримент, за додавання добавок-регуляторів структури показник розпливчастості кульки тіста є найменшим порівняно з будь-яким контрольним зразком. Отримані дані свідчать про уповільнення розслаблення структури тіста з добавками, що з технологічної точки зору сприяє збільшенню формостійкості подових виробів. Це дозволяє надати позитивний прогноз щодо збереження основних якісних характеристик безглютенового тіста під час формування та на початковому етапі випікання.

У процесі тістоприготування активну участь беруть сили адгезії, оскільки внаслідок утворення адгезійного зв'язку при поверхневому контакті тістових заготовок із різними за структурою матеріалами обладнання в більшості випадків виникає явище прилипання.

Утриманням певного балансу (з урахуванням призначення технологічної операції) через послаблення або посилення адгезійної взаємодії харчового продукту з обладнанням можна суттєво поліпшити якість напівфабрикату, ефективність здійснення технологічної операції та якість кінцевої продукції. Наприклад, надмірна адгезія може призвести до збільшення кількісних втрат

під час замішування тіста, а надто низька – до ускладнення процесів округлення або закачування тістових заготовок [202, 203]. Вважаємо, що застосування добавок для поліпшення структурно-механічних властивостей безглютенового борошняного тіста (ефективність дії яких доведено в розд.3 та в табл. 4.1...4.2) можна розглядати як можливість регулювання адгезійних властивостей тіста.

Метою наступного етапу дослідження було вивчення впливу рецептурних компонентів (виду борошняної сировини, виду КВБ, наявності ферменту ТГ і дріжджів) та технологічних факторів (температура рідкої фази) на адгезійні властивості тіста.

Вплив температури рідкої фази тіста на показник міцності адгезії досліджували з наступних міркувань: по-перше, ефективність дії ТГ суттєво залежить від температури середовища, в якому вона «працює» - оптимальною є 40...45°C; по-друге, на початковому етапі випікання температура тістової заготовки підвищується і може відбуватися небажане прилипання до форми випікання. Температуру рідкої фази, яку додавали в бездріжджове борошняне тісто, застосовували 25°C та 45°C. Результати експериментальних досліджень адгезійних властивостей тіста з використанням різних видів борошна та білкових добавок і ферменту представлено на рис.4.2...4.3. Встановлено наступне:

- наявність добавок-регуляторів структури знижує міцність адгезії тіста від 0,76...0,80кПа до 0,55...0,63кПа (або на 23...25%);

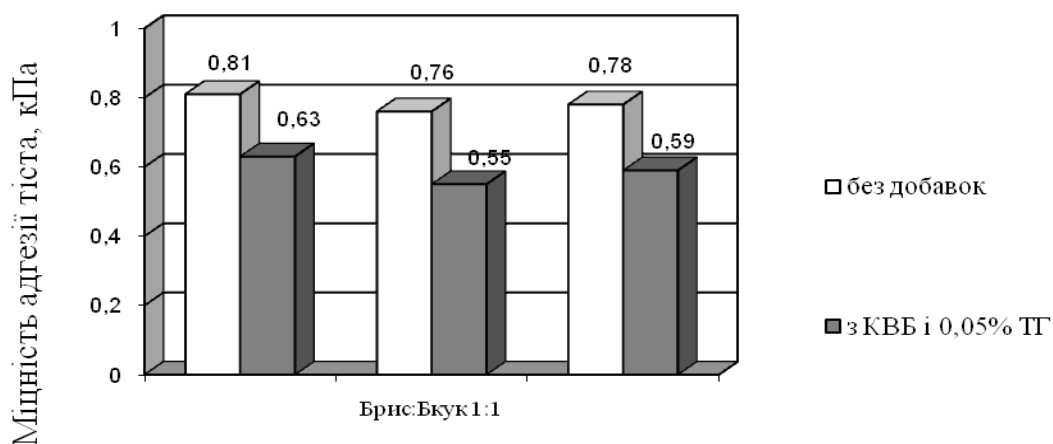


Рис.4.2. Міцність адгезії тіста з безглютенової борошняної сировини з додаванням КВБ і ферменту ТГ за температури 25 °C

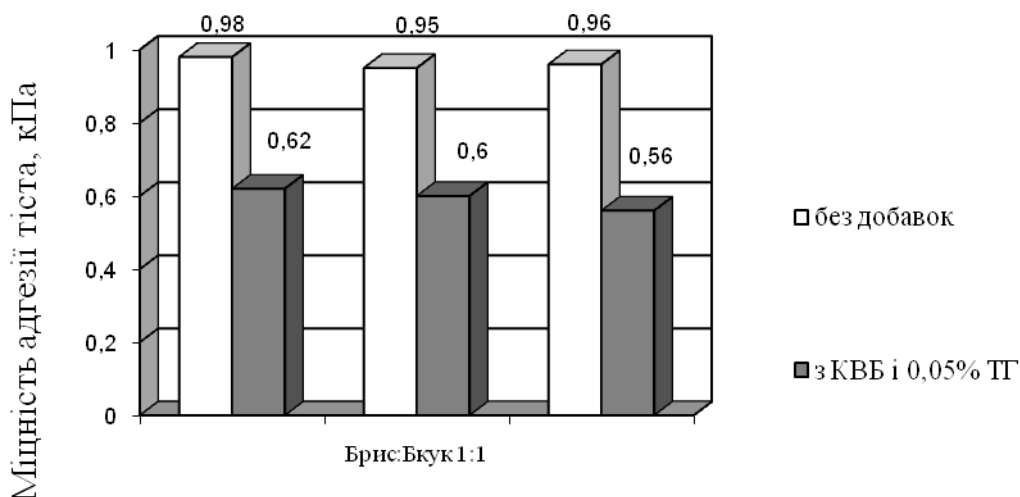


Рис.4.3. Міцність адгезії тіста з безглютенової борошняної сировини з додаванням КВБ і ферменту ТГ за температури 45 °С

- підвищення температури рідкої фази тіста призводить до підвищення показника міцності адгезії в середньому на 15...17%;
- з підвищенням температури зниження міцності адгезії тіста під дією добавок стає більш суттєвим (на 35...40).

Під час дозрівання дріжджового тіста внаслідок дії ферментів борошна, дріжджів та молочнокислих бактерій відбуваються зміни білково-протеїнажного та вуглеводно-амілазного комплексів борошна. З літературних джерел також відомо [204], що зміна адгезійної напруги залежно від температури води і борошна характеризується параболічною залежністю. Тісто, отримане замісом при температурі води і температурі борошна 20 ° С, має найменшу величину адгезійної напруги.

У зв'язку з цим нами вивчено вплив добавок на адгезію дріжджового тіста протягом бродіння (на рис.4.4 наведені дані на прикладі рисового борошна з додаванням желатину і ТГ). Проведені нами дослідження свідчать:

- протягом бродіння тіста міцність адгезії зростає, а наприкінці процесу (за 120-хвилинного бродіння) у контрольного зразка відбувається когезійний відрив тіста (міцність адгезії знижується);

- міцність адгезії дослідного зразка менша, ніж у контрольного, а когезійний відрив починається пізніше, оскільки після 120-хвилинного бродіння зростання міцності адгезії триває.

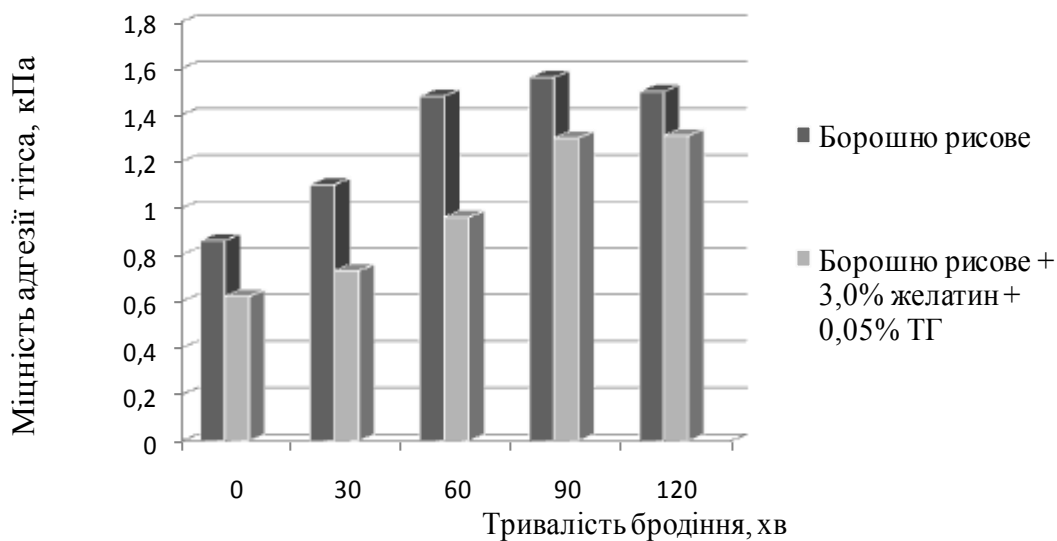


Рис.4.4. Міцність адгезії дріжджового тіста з безглютенової борошняної сировини з додаванням КВБ і ферменту протягом бродіння

Таким чином, зменшення сили адгезії безглютенового тіста за наявності добавок дозволяє розв'язати таку технологічну проблему, як небажане зростання адгезії тіста під час його дозрівання та випікання. Адже замість температури 20°C для зниження адгезійної напруги є недоцільним з міркувань гальмування процесів бродіння в тісті.

4.2. Вивчення мікробіологічних процесів у безглютеновому тісті

Ефективність проведення тістоведення та ступінь готовності хлібного тіста визначаються не тільки його об'ємом, але й накопиченням певної кількості продуктів бродіння в результаті різних видів бродіння, збудниками яких є дріжджі, ферменти та бактерії, присутні в сировині. Вуглекислий газ виділяється за всіх видів бродіння, крім гомоферментативного молочного. Етиловий спирт утворюється під час будь-якого виду бродіння, окрім пропіоновокислого. Накопичення кислот (оцтової, молочної, бурштинової, лимонної, яблучної,

винної та ін.) відбувається за різних видів бродіння. Крім того, з'являється низка побічних продуктів (які утворюються не з цукру, а з речовин, що містяться у зброджувальному субстраті) – гліцерин, бутіленгліколь та ін. [205]. Разом з цим відбуваються процеси накопичення цукрів та їх зброджування.

Важливість дослідження мікробіологічних процесів та їх наслідків у безглютеновому тісті з додаванням ферменту ТГ вважаємо важливим з урахуванням ще однієї обставини. У разі накопичення кислот в тісті знижується рН, а це може вплинути на активність ферменту ТГ, який має оптимум в інтервалі 5...8. Таким чином, дослідження зміни активної і титрованої кислотності тіста з добавками є доцільним не тільки для прогнозування технологічних властивостей тіста і особливостей проведення відповідних технологічних операцій, але й для забезпечення взаємодії складових речовин борошна з добавками. Тому метою наступного етапу дослідження було вивчення процесів кислото-, газо- та цукронакопичення внаслідок життєдіяльності мікрофлори тіста з різних видів безглютенового борошна за додавання КВБ і ферменту ТГ.

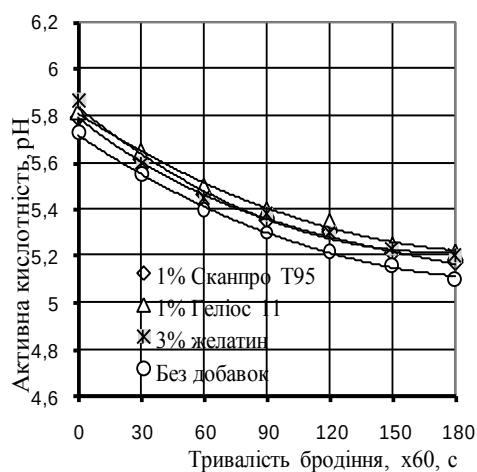
Інтенсивність кислотонакопичення в тісті визначали за зміною показників активної та титрованої кислотності під час бродіння. Враховували, що накопичення певної кількості продуктів бродіння зумовлює структуру, смак і аромат виробів – з цією метою оцінювали загальну кислотність. У разі інтенсивного накопичення кислот у тісті зниження рН може вплинути на дієвість ТГ - для цього визначали активну кислотність.

Для досліджень використовували борошно рисове, кукурудзяне та їх суміш 1:1. Результати експериментальних досліджень представлено на рис.4.5...4.7. Процес кислотонакопичення в контрольному та дослідних зразках у цілому має подібний характер. Протягом 3 год. бродіння показник активної кислотності змінюється від 5,8...6,0 до 5,1...5,3.

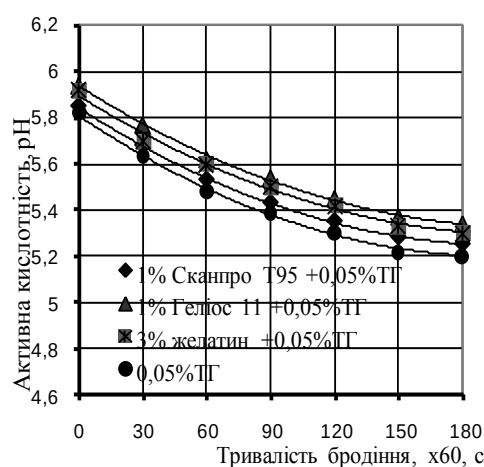
У разі застосування кукурудзяного борошна найнижчі значення має зразок із додаванням желатину, якщо застосовувати його в суміші з рисовим борошном або власне рисове борошно, різниця між желатином та іншими КВБ стає значно меншою. Такі дані можна пояснити наступним: рН 1%-их розчинів

КВБ дорівнює 7,0 (Сканпро Т 95) та 7,0...7,5 (Геліос-11), рН розчинів желатину – 4,9...5,5 (очевидно, застосований нами желатин отримано в кислотний спосіб). Показники рН розчинів КВБ дозволяють також пояснити зростання значення рН тіста з додаванням КВБ.

Проведені дослідження титрованої кислотності безглютенового тіста підтверджують вищезазначені тенденції. Загалом за 3 год. бродіння значення титрованої кислотності всіх зразків зростає від 1,5...1,7 град. до 2,7...2,9 град. (на рис.4.8 – дослідження показника титрованої кислотності під час бродіння тіста на основі борошняної суміші).

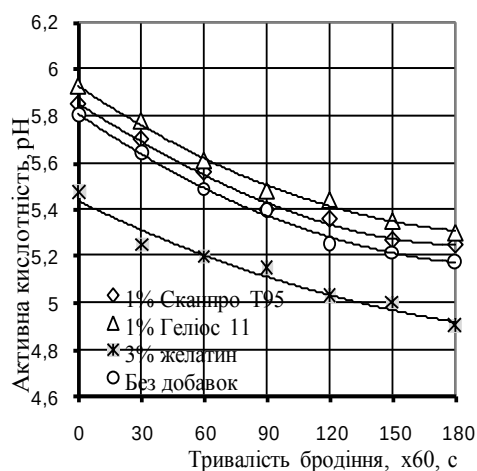


а

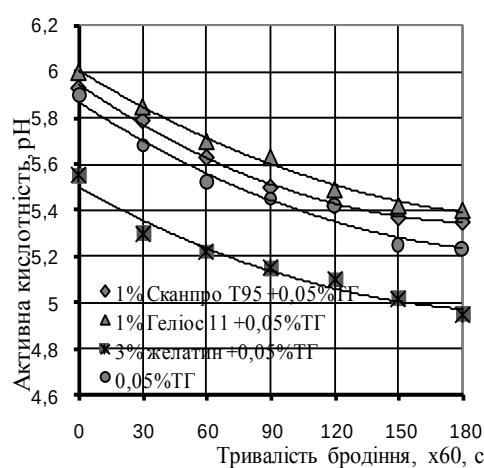


б

Рис.4.5. Залежність активної кислотності тіста з рисового борошна з добавками КВБ (а) та в присутності 0,05% ТГ (б) від тривалості бродіння

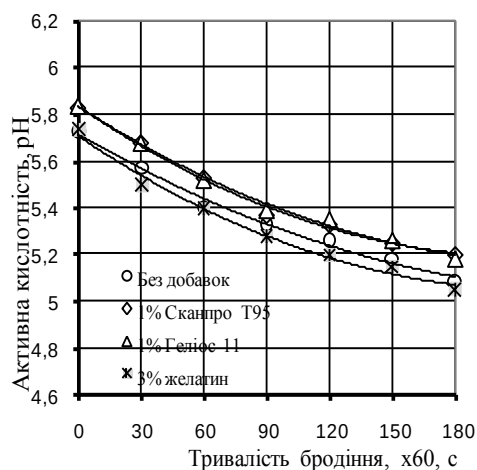


а

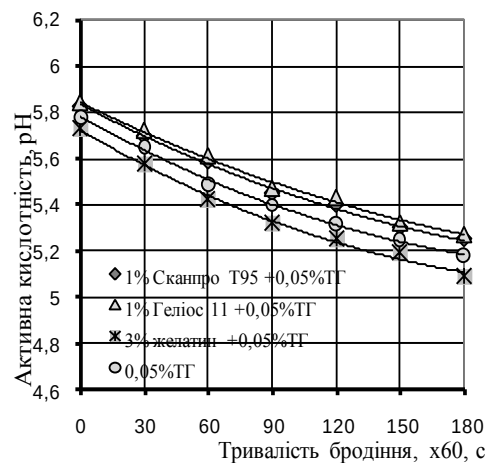


б

Рис.4.6. Залежність активної кислотності тіста з кукурудзяного борошна з добавками КВБ (а) та в присутності 0,05% ТГ (б) від тривалості бродіння

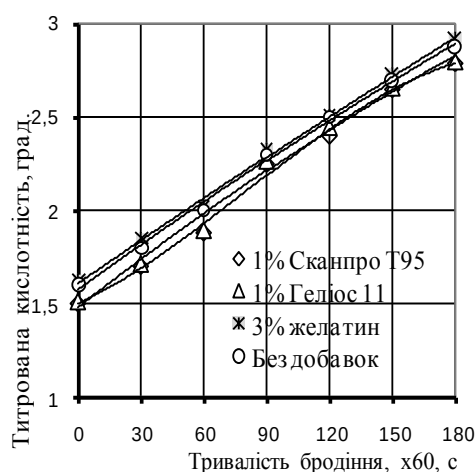


а

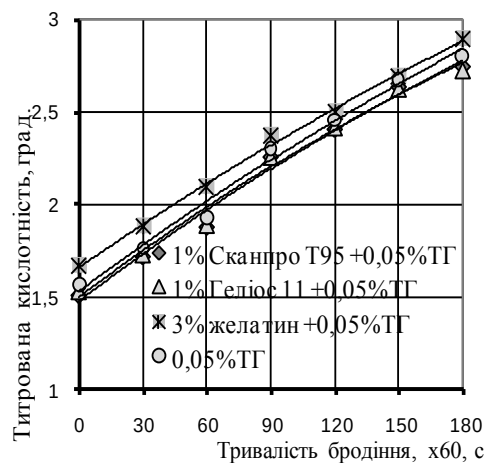


б

Рис.4.7. Залежність активної кислотності тіста з борошняної суміші (рисове: кукурудзяне 1:1) з добавками КВБ (а) та в присутності 0,05% ТГ (б) від тривалості бродіння



а



б

Рис.4.8. Залежність титрованої кислотності тіста з борошняної суміші (рисове: кукурудзяне 1:1) з добавками КВБ (а) та в присутності ТГ (б) від тривалості бродіння

Застосування добавок для регулювання структури тіста незначно знижує досліджуваний показник, за додавання ферменту ТГ – більшою мірою. Це можна пояснити здатністю ТГ зшивати залишки амінокислот у білковій молекулі, змінюючи таким чином її просторову структуру і здатність до дисоціації.

Іншим важливим наслідком мікробіологічних процесів у тісті є утворення та накопичення вуглекислого газу. Внесення в рецептуру тіста поліпшувачів може суттєво вплинути як на інтенсивність протікання процесу бродіння (що

зумовлюється станом мікрофлори в тісті), так і на активність амілолітичних ферментів борошна (які впливають на забезпечення живлення дріжджів).

Попередніми аналітичними дослідженнями нами встановлено, що авторами [129] підтверджено ефективність сумісної дії мікробіальної трансглютамінази в тісті з пшеничного борошна та амілолітичних ферментів, тобто не виявлено антагонізму дії між цими двома класами ферментів у складі борошняного тіста.

Непрямим доказом позитивного впливу ТГ на активність амілолітичних ферментів у тісті можна вважати дані дослідників [153], які свідчать, що під час зберігання хліба з додаванням ТГ він залишається свіжим більш тривалий проміжок часу. Даних з вивчення процесів бродіння в безглютеновому тісті за наявності ферменту ТГ нами не виявлено.

Тому метою досліджень було вивчення впливу ферменту трансглютамінази разом із концентратами тваринних білків на активність мікробіологічних процесів у безглютеновому тісті.

Досліджували газоутворювальну здатність борошна (ГУЗ), кінетику газотворення в безглютеновому тісті, що містить запропоновані нами добавки-регулятори консистенції, кінетику цукроутворення та зброджування цукрів. Показники газоутворювальної здатності борошна різних видів наведені в табл.4.5. Як свідчать експериментальні дані, ГУЗ залежить від виду борошна: для кукурудзяного борошна цей показник найвищий, для рисового – найнижчий, для суміші має середнє значення.

Це можна пояснити вмістом цукрів у складі борошна (у кукурудзяному борошні він вищий), а також більш високою активністю амілолітичних ферментів (зокрема, α -амілази) [206].

Наявність КВБ дещо знижує ГУЗ борошняної сировини всіх видів. Це зниження коливається в межах 5...8 %, ймовірно за рахунок укріплюючої дії КВБ, утворення зміцненої просторової структури тіста та обмеження доступності макромолекул харчових речовин тіста дії амілолітичних ферментів.

Таблиця 4.5

Газоутворювальна здатність борошна різних видів із добавками

(рівень надійності 0,95)

Наявність ферменту	Газоутворювальна здатність борошна, $V_{CO_2} \times 10^6, \text{ м}^3$			
	Без КВБ	1% Сканпро Т95	1% Геліос 11	3% Желатин
Борошно рисове				
Без ферменту	1360	1315	1349	1366
0,05% ТГ	1350	1306	1340	1351
Борошно кукурудзяне				
Без ферменту	1610	1535	1575	1592
0,05% ТГ	1600	1527	1558	1580
Борошно рисове:Борошно кукурудзяне 1:1				
Без ферменту	1480	1403	1450	1460
0,05% ТГ	1470	1390	1338	1452

На підставі експериментальних даних про ГУЗ борошна розраховували швидкість газоутворення в тісті з кукурудзяного борошна з різними видами добавок. Результати наведено на рис.4.9. Встановлено, що за наявності добавок незначно зменшується швидкість газоутворення в тісті порівняно з контрольним зразком. Слід також зазначити, що переважання швидкості газоутворення в тісті з добавками порівняно з контролем спостерігається тільки в межах 70...110 хв. бродіння. Це слід враховувати при визначенні раціональної тривалості етапу бродіння тіста.

Для дослідження процесу цукронакопичення та зброджування цукрів, які відбуваються в тісті (на прикладі кукурудзяного тіста з додаванням 3% желатину та 0,05% ТГ), визначали вміст цукрів у бездріжджовому та дріжджовому тісті (табл. 4.6). Наведені дані свідчать: за додавання желатину дещо зменшується

здатність тіста накопичувати цукри – на 4...5% порівняно з контролем, а також здатність їх зброджувати порівняно зі зразком без добавок.

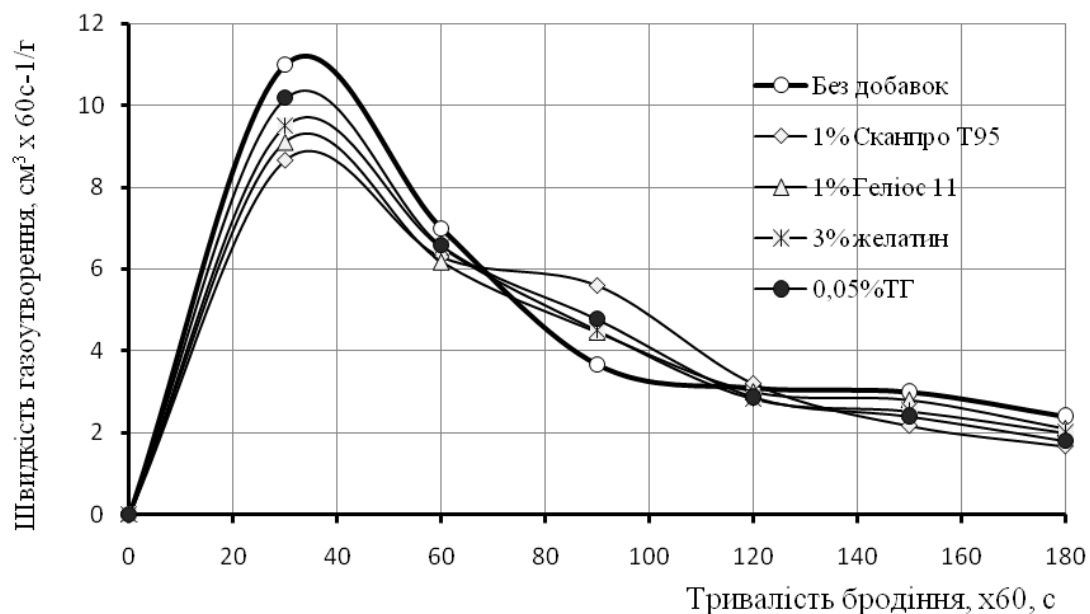


Рис. 4.9. Кінетика газоутворення в тісті з кукурудзяного борошна без добавок та з додаванням білків та ферменту

Таблиця 4.6

Вміст моноцукрів у тісті з поліпшувачами,
% до сухих речовин у перерахунку на глюкозу (рівень надійності 0,95)

Варіанти	Борошно кукурудзяне	Борошно кукурудзяне + 3% желатин	Борошно кукурудзяне + 3% желатин + 0,05% ТГ
Бездріжджове тісто			
Після замісу	0,99	0,98	0,97
Через 4 години відлежування	1,68	1,65	1,60
Утворилося	0,69	0,67	0,63
Дріжджове тісто			
Після замісу	0,94	0,93	0,93
Через 4 години бродіння	0,21	0,25	0,25
Зброджено	1,42	1,35	1,31

Наявність ферменту ТГ також незначно гальмує обидва ці процеси. Можливо, це пояснюється тим, що ТГ, володіючи буферними властивостями, здатна незначно зміщувати значення рН середовища, відсуваючи його від оптимального для дії амілолітичних ферментів значення. Однак, зменшення в присутності ферменту ТГ кількості зброджених цукрів у тісті є незначним і не впливає негативно на колір скоринки і пористість м'якушки хліба. А присутність желатину нівелює такий ефект від присутності ТГ і забезпечує високі якісні показники хліба.

Досліджувані висока ГУЗ і здатність накопичувати і зброджувати цукри в тісті на основі кукурудзяного борошна зумовлюється тим, що крохмальні зерна кукурудзи, хоча і мають досить великі розміри, але на їх поверхні немає прикріпленого білка [206]. Тому при порівняно низькій активності амілаз кукурудзяне борошно характеризується високою ГУЗ та цукроутворюючою здатністю. Крохмаль рисового борошна має більшу піддатливість амілолітичним ферментам, тому тісто також характеризується високою швидкістю протікання біохімічних і мікробіологічних процесів.

Зазначимо, що лише частина вуглекислого газу, яка утворюється під час бродіння, призводить до розпушення тістових заготовок, решта газу практично не має технологічного значення і втрачається. Тому ефективність процесу бродіння та якість готових виробів значною мірою забезпечуються високою газоутримувальною здатністю тіста та зниженими втратами утворюваного вуглекислого газу. Нами досліджено здатність тіста утримувати виділений у ході бродіння CO_2 (рис.4.10).

Встановлено, що контрольний зразок (тісто з борошна кукурудзяного без добавок) досягає максимального об'єму за 30×60 с бродіння та утримує його лише перші 60×60 с, після чого об'єм суттєво знижується. За використання желатину максимальний об'єм тіста утримується протягом 90×60 с, а сумісно з ферментом ТГ – протягом 120×60 с бродіння. Таким чином, слід враховувати отримані дані при обґрунтуванні тривалості процесу тістопечення безглютенового хліба, який за сумісного використання добавок не повинен перевищувати

двох годин для запобігання погіршення об'єму тістової заготовки та якості хліба.

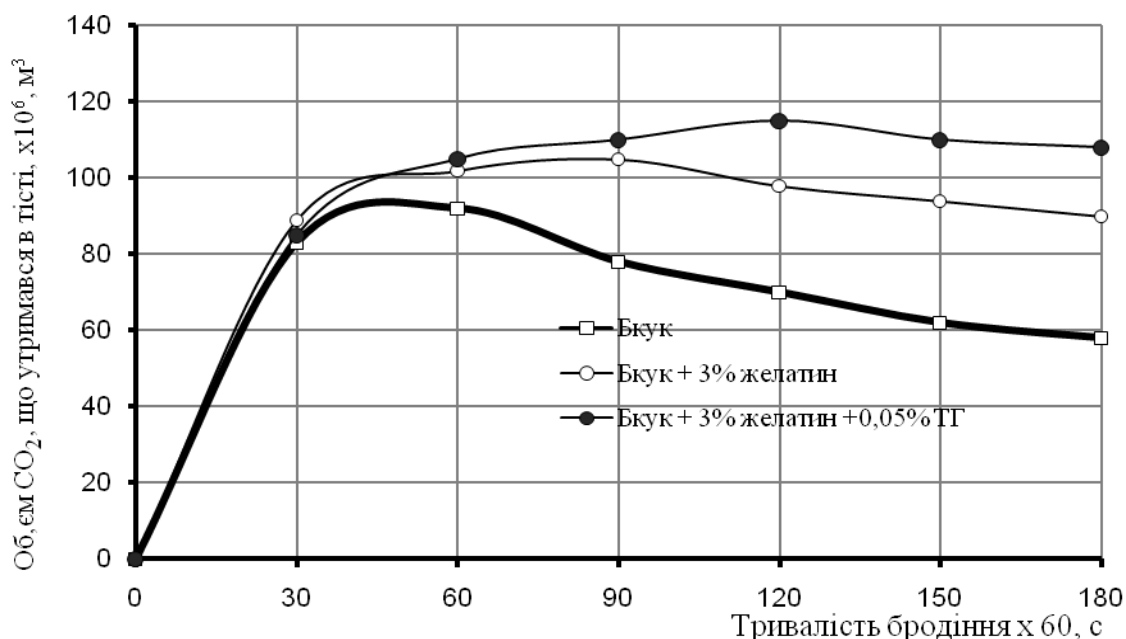


Рис.4.10. Об'єм CO₂, що утримався під час бродіння в тісті з кукурудзяного борошна без добавок та з додаванням 3% желатину та 0,05% ТГ

Пояснити встановлену залежність можна тим, що внаслідок низької розтяжності тіста через певний проміжок часу під дією газу, що утворює тиск у тістовій заготівлі, на поверхні утворюються тріщини, через які відбуваються основні втрати; тісто незворотно опадає. Додавання добавок (особливо разом білка та ферменту) позитивно впливає на зростання еластичності тіста та зменшує втрати вуглекислого газу, що утворився в тісті. Це забезпечує добру розпушеність тістової заготовки та добру якість м'якушки хліба, що підтверджено пробними лабораторними випіканнями (розд.3).

Таким чином, доведено ефективність дії обраних речовин у процесі тісто-ведення для поліпшення структурно-механічних властивостей безглютенового тіста шляхом контрольованого регулювання реологічних і мікробіологічних процесів, а також внаслідок покращення формування пористої структури хлібного тіста. За комплексом досліджень перебігу мікробіологічних та ферментативних процесів можна зробити висновок, що тісто з борошна кукурудзяного, ри-

сового або їх суміші у процесі замішування та бродіння здатне забезпечити отримання хлібобулочних виробів високої якості.

4.3. Визначення гідратаційних властивостей безглютенового тіста

Вологоутримувальна здатність є важливою характеристикою борошна, яка забезпечує утворення тіста потрібної консистенції. Процеси утримання вологи різних видів тіста із пшеничного борошна достатньо ґрунтовно досліджені. Безглютенові види борошна, за відсутності клейковинних білків, виявляють особливі здатності до вологопоглинання та вологоутримання, які відрізняються від тих, що притаманні пшеничному борошну. Щодо безглютенових видів борошна, то дослідження в цьому напрямі достатньо фрагментарні [19, 207, 208]. Загалом показано, що водопоглинальна (ВПЗ) та водоутримувальна (ВУЗ) борошна залежить від виду борошна, його хімічного складу та вмісту висівкових часточок, ступеня здрібнення ендосперму зерна, наявності добавок.

Так, у роботі [207] доведено, що борошно соргове та ячмінне перевищують пшеничне борошно за ВПЗ та ВУЗ здатністю, за енергетичними витратами на процес дегідратації в тісті через більш високий вміст висівкових часточок і пентозанів, оскільки ці види борошна були отримані в обойний спосіб помелу.

За даними, представленими в роботі [208], збільшення питомої поверхні фракції борошна з підвищеним вмістом білкових речовин позитивно впливає на його ВПЗ внаслідок значного підвищення доступності полярних активних центрів білків і вуглеводів борошна, що взаємодіють із водою.

На думку деяких дослідників [19], структурно-механічні властивості безглютенового тіста з рисового, гречаного, кукурудзяного борошна та крохмалю дуже відрізняються внаслідок різного хімічного складу та гранулометричних характеристик борошна. Відмічено, що гречане борошно має найбільшу водопоглинальну здатність, рисове - на 43% і кукурудзяне - на 33%

менше, ніж гречане. Найменша ВПЗ – у кукурудзяного крохмалю. За додавання поліатомних спиртів та натрієвих солей органічних кислот збільшується кількість вільної вологи та швидкість її видалення з аглютенного тіста; видалення зв'язаної вологи відбувається повільніше, що свідчить про посилення її зв'язку з продуктом [207].

Проведені нами дослідження доводять ефективність застосування ферменту трансклутаминаза, найбільшою мірою в композиції з білками тваринного і рослинного походження (желатин, Геліос-11, Сканпро Т95, борошно різних видів), для покращання структурно-механічних та органолептичних характеристик безглютенового хліба. Тому для поліпшення споживчих властивостей безглютенового хліба ми вважали необхідним дослідити вплив ферменту трансклутаминаза на ВУЗ борошняного тіста.

Метою дослідження було вивчення втрат вологи тістом із різної борошняної сировини за наявності колагеновмісних білків за додавання трансклутаминази.

Об'єктами дослідження обрано наступні види сировини: борошно пшеничне хлібопекарське; борошно рисове, кукурудзяне та їх суміш у співвідношенні 1:1; вода питна; фермент трансклутаминаза Revada TG, колагеновмісні тваринні білки – желатин, Геліос-11, Сканпро Т95. Для визначення втрат вологи в тісті застосовували ваги-вологомір серії ADGS-50.

Криві сушіння тіста з безглютенових видів борошна та їх суміші наведено на рис. 4.11...4.16. Видно, що залежно від виду борошняної сировини та наявності ферменту ВУЗ тіста помітно змінюється. Додавання ТГ до борошна кукурудзяного (рис. 4.11) гальмує процес випаровування вологи: протягом досліджуваного проміжка часу контрольний зразок (без ТГ) втрачає 46% від початкового вмісту вологи (швидкість випаровування дорівнює $88,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг/с}$). Під дією ферменту ВУЗ кукурудзяного тіста посилюється – втрати вологи складають 39...43%, а швидкість випаровування дорівнює $(75...82,6) \cdot 10^{-6} \text{ кг/с}$. Зразки тіста з рисового борошна демонструють протилежну залежність, а саме: без додавання ТГ кількість втраченої під час

сушіння води (43% від початкового вмісту) та швидкість її випаровування ($82,7 \cdot 10^{-6} \cdot 60$ кг/с) є мінімальними. За наявності ферменту ВУЗ тіста слабшає, втрати води зростають зі швидкістю в середньому $92 \cdot 10^{-6} \cdot 60$ кг/с.

У тісті на основі борошняної суміші (рис. 4.13) втрати води є найбільшими (порівняно з тістом на основі одного виду борошна) і сягають 53% (за швидкості випаровування $102 \cdot 10^{-6} \cdot 60$ кг/с). Проте, додавання ТГ гальмує процес до $(90,4 \dots 96,0) \cdot 10^{-6} \cdot 60$ кг/с.

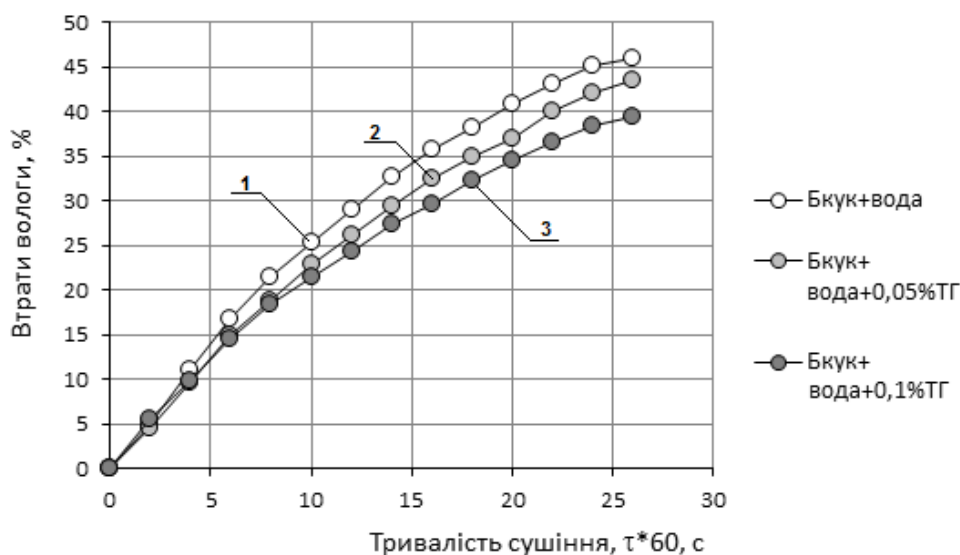


Рис.4.11. Втрати води протягом сушіння тіста з кукурудзяного борошна з додаванням ферменту трансглютаміназа (% до маси борошна): 1 – 0; 2 – 0,05; 3 – 0,1

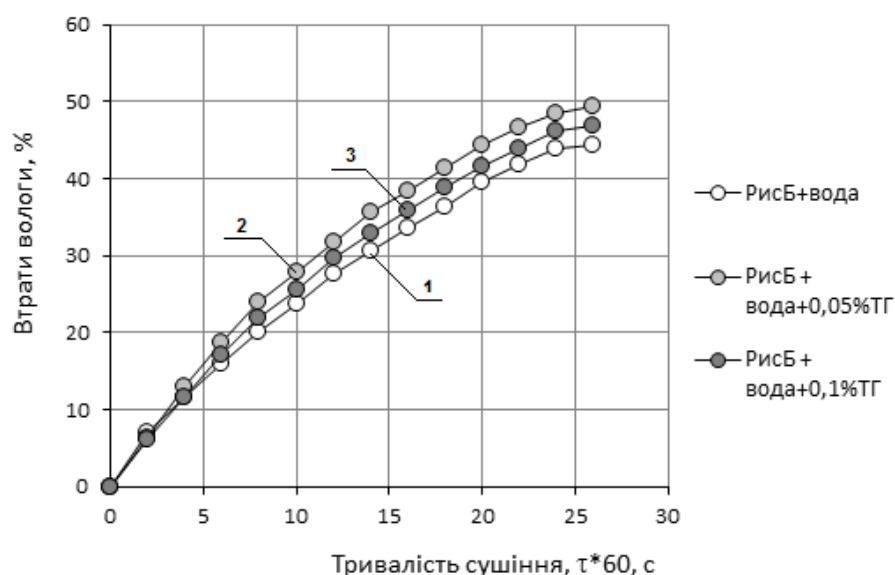


Рис.4.12. Втрати води протягом сушіння тіста з рисового борошна з додаванням ферменту трансглютаміназа (% до маси борошна): 1 – 0; 2 – 0,05; 3 – 0,1

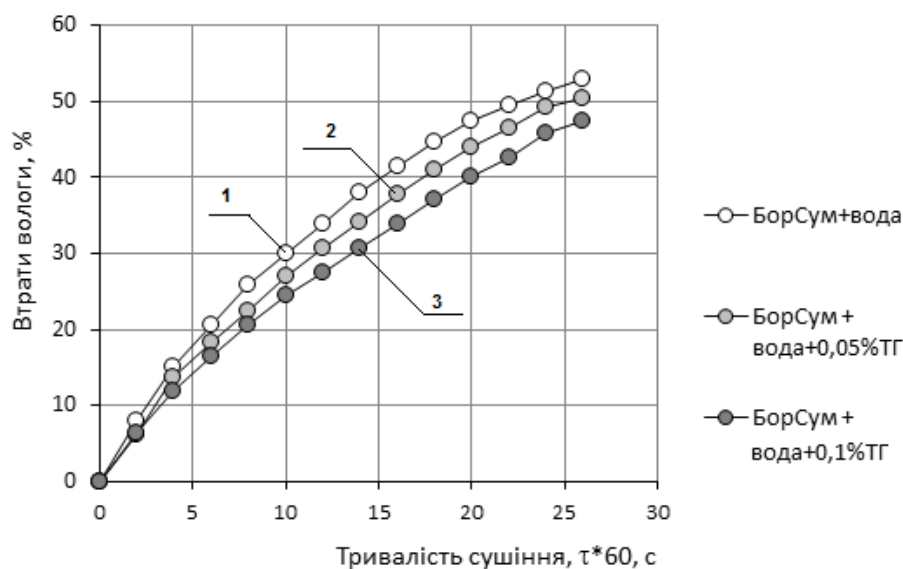


Рис.4.13. Втрати вологи протягом сушіння тіста з борошняної суміші (кукурудзяне : рисове 1:1) з додаванням ферменту трансглютаміназа (% до маси борошна): 1 – 0; 2 – 0,05; 3 – 0,1

Можна припустити, що в тісті на основі борошняної суміші відбувається певна взаємодія між високомолекулярними сполуками борошна, що призводить до зростання їхньої здатності утримувати вологу. Під дією ферменту білкові макромолекули борошна зазнають додаткових конфірмаційних змін за рахунок утворення нових зв'язків (у вигляді ковалентних зшивок) між залишками лізину і глютаміну. З урахуванням того, що різні білки зернових мають неоднаково розвинену білкову мережу, а також враховуючи відомі підходи до поліпшення цієї мережі додаванням іншої білковмісної сировини, на наступному етапі нами досліджено ВУЗ тіста на основі безглютенової борошняної сировини за додавання білків, отриманих з колагенвмісної сировини – желатину, Сканпро Т95 та Геліос-11. Результати представлені на рис.4.14...4.16.

Додавання желатину (рис.4.14) зменшує втрати вологи залежно від виду борошняної сировини, найбільше – у тісті з борошняної суміші. За додавання ТГ вказані тенденції посилюються: втрати знижуються на 3...8 абс.% в рисовому тісті (рис.4.14 б), на 5...11 абс.% в кукурудзяному тісті (рис.4.14 а) та на 18...22 абс.% в тісті з борошняної суміші (рис.4.14 в).

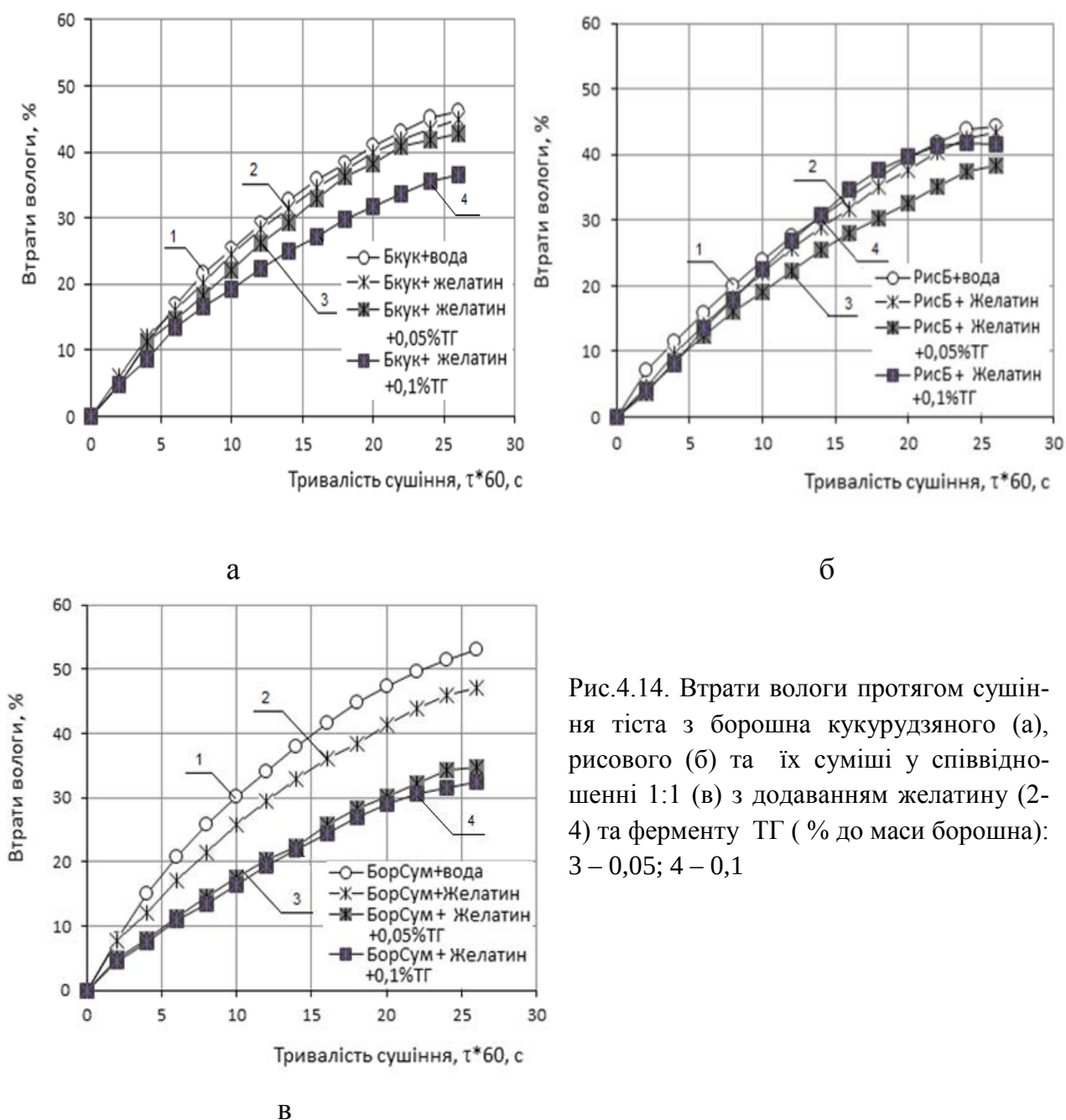
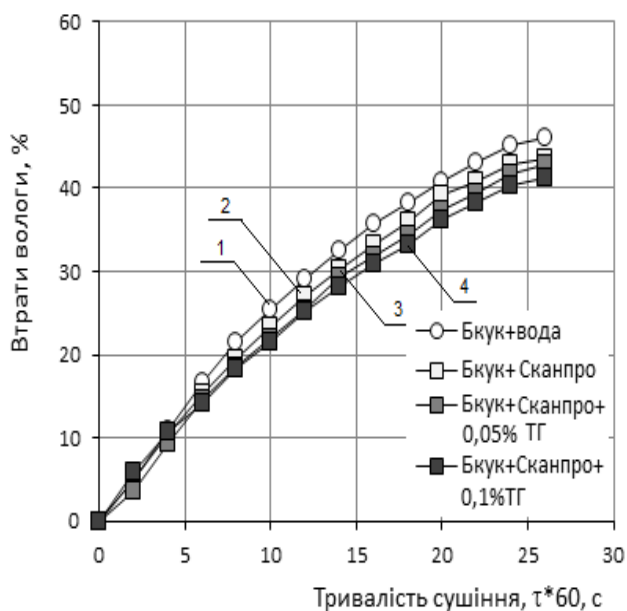
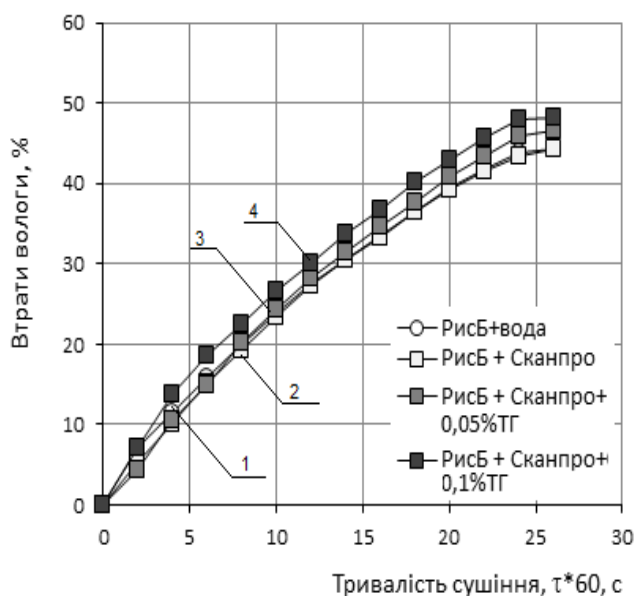


Рис.4.14. Втрата вологи протягом сушіння тіста з борошна кукурудзяного (а), рисового (б) та їх суміші у співвідношенні 1:1 (в) з додаванням желатину (2-4) та ферменту ТГ (% до маси борошна): 3 – 0,05; 4 – 0,1

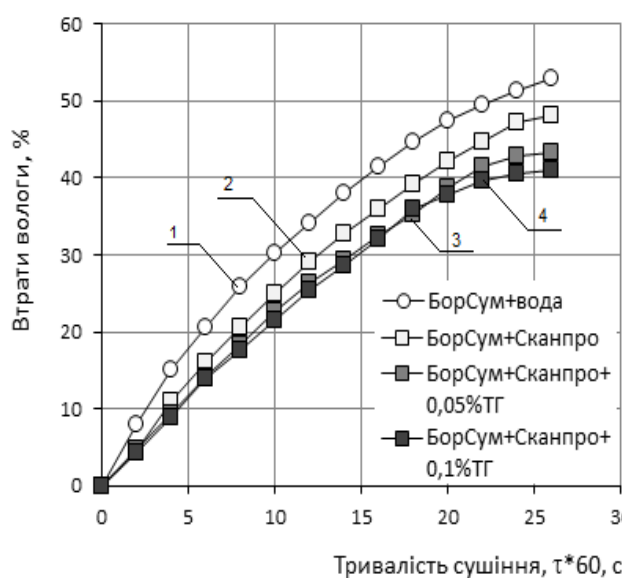
За введення Сканпро Т95 (рис. 4.15) виявлено схожість дії білка в кукурудзяному тісті (рис.4.15 а) та з борошняної суміші (рис.4.15 в). У разі застосування рисового борошна (рис.4.15 б) відбувається деяке збільшення досліджуваного показника порівняно з контрольним зразком без ТГ та Сканпро Т95. Можливо, за додавання цих поліпшувачів у тісто з рисового борошна відбувається надмірне укріплення його структури, що призводить до зниження здатності утримувати вологу.



а



б



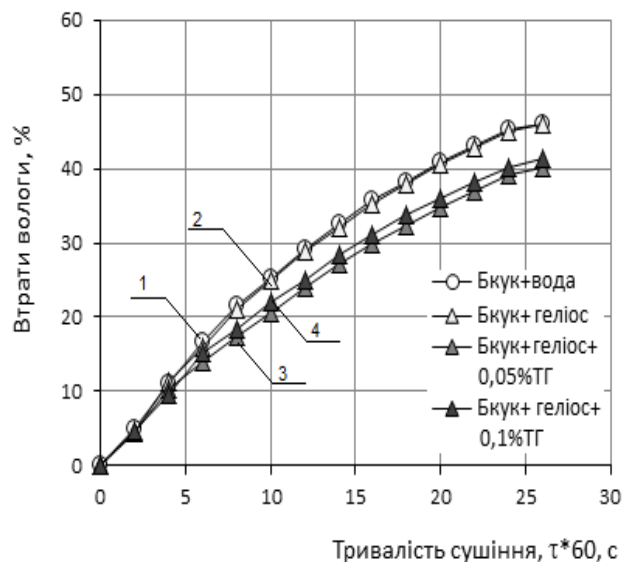
в

Рис.4.15. Втрати вологи протягом сушіння тіста з борошна кукурудзяного (а), рисового (б) та їх суміші у співвідношенні 1:1 (в) з додаванням Сканпро Т95 (2-4) та ферменту трансглютаміназа (% до маси борошна): 3 – 0,05; 4 – 0,1

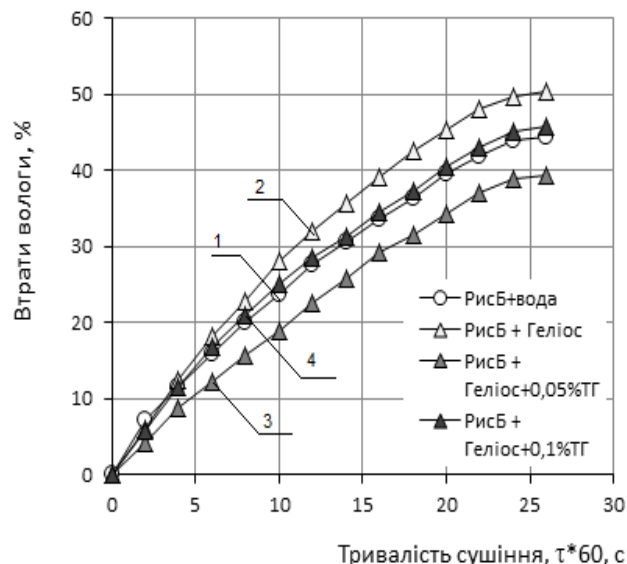
За додавання Геліос-11 (рис.4.16) встановлені тенденції загалом зберігаються. Найбільш ефективною є дія добавок у тісті з борошняної суміші – тут втрати вологи найменші за сумісного використання ферменту ТГ та Геліос-11.

Експериментальні дані доводять, що чим вищою є кількість ферменту, тим більше ВУЗ тіста (борошно кукурудзяне з желатином або Сканпро Т95). Є протилежні дані – ВУЗ зменшується (тісто з рисового борошна з будь-яким КВБ). Ці дані корегують із результатами інших авторів – за [16] додавання ферменту ТГ виявляє позитивний ефект щодо ВПЗ та ВУЗ через високу актив-

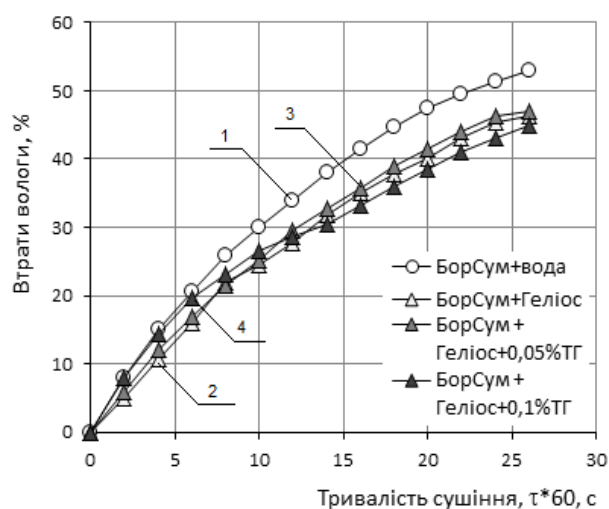
ність ТГ до зшивання залишків амінокислот із наступним формуванням білкових макромолекул із більш високою ВУЗ.



а



б



в

Рис.4.16. Втрати вологи протягом сушіння тіста з борошна кукурудзяного (а), рисового (б) та їх суміші у співвідношенні 1:1 (в) з додаванням Геліос-11 (2-4) та ферменту трансглютаміназа (% до маси борошна): 3 – 0,05; 4 – 0,1

Таким чином, експериментально доведено ефективний вплив ферменту трансглютаміназа на посилення ВУЗ тіста з безглютенового борошна. Встановлено, що за наявності КВБ втрати вологи під час сушіння тіста помітно зменшуються, найпотужніше – у тісті з борошняної суміші рисового та кукурудзяного борошна у співвідношенні 1:1. Загалом, можна прогнозувати зниження кількісних втрат під час випікання безглютенового хліба за використання ферменту трансглютаміназа разом із желатином, Сканпро Т95 або Геліос-11.

4.4. Стан білково-протеїназного комплексу безглютенового борошняного тіста

Білки та їх властивості відіграють вирішальну роль у формуванні структури тіста на етапі замішування та на початковому етапі випічки. Гідратовані клейковинні білки утворюють еластичні-пружні властивості структури тіста під час його формування. Що стосується крохмалю, то він сприяє прояву властивостей пластичності м'якушки при випічці тіста. Таким чином, регулювання структурно-механічних властивостей тіста можна розглядати, в першу чергу, як модифікацію властивостей нативних білків борошна.

Тому дослідження стану білково-протеїназного комплексу борошняного тіста є вкрай важливим для розуміння можливих механізмів регулювання структури безглютенового тіста за допомогою ферменту трансглютамінази за наявності колагенвмісних білків. Узагальнення даних проводили, базуючись на експериментальних дослідженнях із застосуванням інфрачервоноспектроскопічного, титриметричного аналізу молекулярно-масового розподілу білкових речовин борошняної сировини.

4.4.1. Вивчення впливу добавок на конфірмаційний стан білків

Метою дослідження було встановлення можливості впливу ферменту трансглютаміназа на конфірмаційний стан біополімерів борошняного тіста на основі борошняних сумішей. Вологість зразків борошняного тіста дорівнювала 48%. Застосовували желатин у вигляді 3%-го водного розчину, фермент ТГ – у сухому вигляді в кількості 0,05% до маси борошняної сировини.

ІЧ-спектроскопічні дослідження проводили на аналізаторі UR-20 (Німеччина) та FT-IR Spectrometer (Великобританія) в інтервалі коливань від 400 см^{-1} до 4000 см^{-1} .

У випадку ІЧ-спектрів білків найбільш інформативними є три ділянки: смуга валентних коливань групи C=O пептидних зв'язків (Амід I) - карбонільне

поглинання з максимумом в області $1700...1600\text{ см}^{-1}$; смуга складного коливання, у якому взаємодіють деформаційні (NH) і валентні (CN), в тому числі $1660...1650\text{ см}^{-1}$ для α -спіральных структур, 1630 см^{-1} – для β -шарів; максимум поглинання цієї смуги знаходиться в області $1600...1500\text{ см}^{-1}$ (Амід-II), у тому числі $1550...1540\text{ см}^{-1}$ для α -спіральных структур, $1525...1520\text{ см}^{-1}$ – для β -шарів; смуга валентних коливань групи NH має максимум поглинання в області хвильових чисел 3300 см^{-1} (Амід А). Положення смуги Амід А дуже чутливі до утворення водневих зв'язків, тому їх широко застосовують для їх дослідження. Зміщення піку смуги Амід А в бік більших хвильових чисел (3400 см^{-1}) свідчить про утворення структур без водневих зв'язків.

Результати аналізу інфрачервоних спектрів досліджуваних зразків тіста наведені в табл.4.7, спектри – в Додатку Б, а їх фрагменти – на рис.4.17...4.24.

Як бачимо, загалом ІЧ-спектри тіста мають багато спільних смуг поглинання. Відомо, що гідроксильна група може взаємодіяти з будь-якими полярними молекулами. Тому валентні коливання незв'язаної групи OH можна спостерігати тільки у випадку дуже розведених розчинів в області $3700...3500\text{ см}^{-1}$ у вигляді вузької смуги. Зв'язана група OH внаслідок утворення міжмолекулярних водневих зв'язків утворює смугу поглинання $3450...3200\text{ см}^{-1}$, що можна спостерігати для досліджуваних спектрів – в області хвильових чисел $3700...3000\text{ см}^{-1}$.

Спектральні характеристики смуг поглинання Амід-I та Амід-II дослідних зразків свідчать, що такі групи є наявними і нами їх чітко визначено.

За наявності білкових добавок (желатину або ферменту) з'являються нові смуги поглинання – досить слабкі, але присутні. Це відбувається в інтервалі хвильових чисел $1455, 1465, 1490$ та 1390 см^{-1} .

У випадку застосування ферментуразом із желатином з'являються нові піки поглинання 1500 см^{-1} та 1380 см^{-1} ; останні можуть бути віднесені до коливань карбоксильної групи COO^- або слабких скелетних коливань пептидної групи і бокових ланцюгів в області $800...1400\text{ см}^{-1}$.

Посилюються смуги поглинання з піками поглинання хвильових чисел 1160 см^{-1} та 1460 см^{-1} , які вказують на певне зростання інтенсивності валентних коливань С=О-груп простих ефірів та пласких деформаційних коливань СН-груп відповідно.

Таблиця 4.7

Частотні положення (см^{-1}) основних смуг ІЧ-спектрів поглинання зразків тіста

Склад зразка	Амід І	Амід ІІ	Амід А	Інші смуги
50% борошно вівсяне, 25% борошно рисове, 25% борошно кукурудзяне				
Без добавок	1660	1545	3400	495, 530, 575, 610, 710, 761, 855, 932, 1027, 1085, 1165
0,05% ТГ	1661	1544	3400	495, 530, 575, 602, 613, 708, 760, 855, 935, 1027, 1085, 1165
3% желатину	1660	1544	3400	495, 528, 578, 610, 710, 760, 860, 930*, 1027, 1085, 1165
3% желатину 0,05% ТГ	1660	1545	3400	475, 518, 550, 580, 605, 710, 760, 855, 930, 938, 1027, 1085, 1165
50% борошно кукурудзяне, 25% борошно рисове, 25% борошно вівсяне				
Без добавок	1660	1540	3400, 2850, 2920	528, 570, 750, 760, 850, 860, 935, 1020, 1080, 1160, 1240, 1465, 1490, 1742
0,05% ТГ	1660	1542	3400, 2850, 2920	498, 520, 575, 610*, 705, 730, 855, 935, 1020, 1080, 1160, 1245, 1390, 1460, 1490, 1742
3% желатину	1660	1540 слабка	3400, 2850, 2920	495, 570, 708, 685, 761, 855, 930, 1010, 1080, 1050, 1160, 1245*, 1390, 1460, 1490, 1742
3% желатину 0,05% ТГ	1655	1542	3400, 2850, 2920	525, 550, 575, 595, 612, 708, 761, 858, 930, 1020, 1050, 1080, 1160, 1240, 1390, 1390, 1455, 1465, 1490, 1745

Тут * - наведене значення стосується плеча смуги

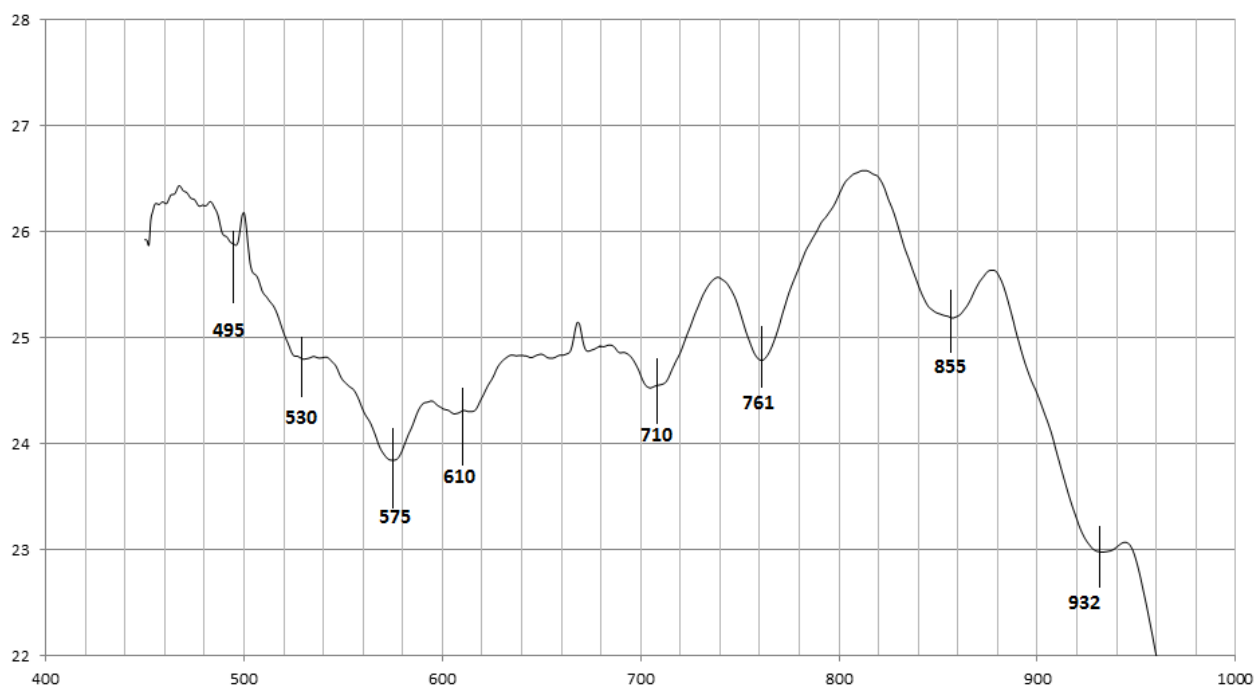


Рис.4.17. ІЧ-спектр зразка тіста з борошняної суміші на основі вівсяного борошна (в інтервалі $400 \dots 1000 \text{ cm}^{-1}$)

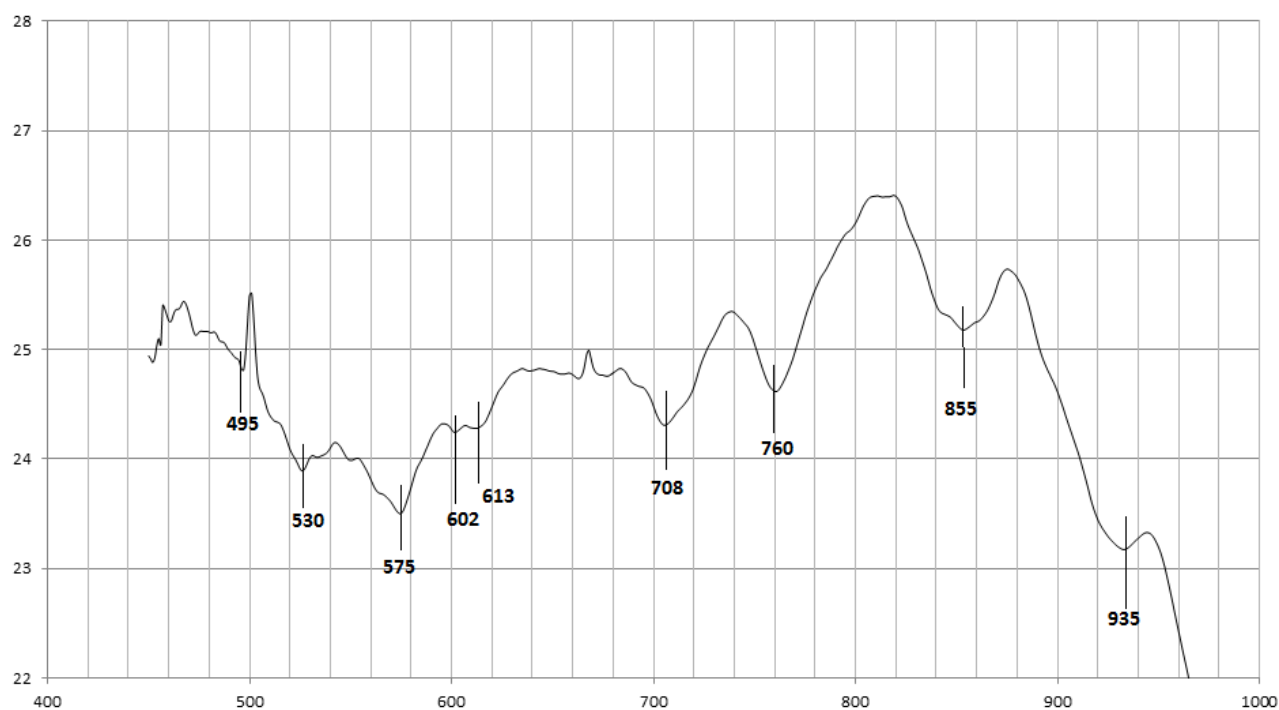


Рис.4.18. ІЧ-спектр зразка тіста з борошняної суміші на основі вівсяного борошна з додаванням 0,05% ТГ (в інтервалі $400 \dots 1000 \text{ cm}^{-1}$)

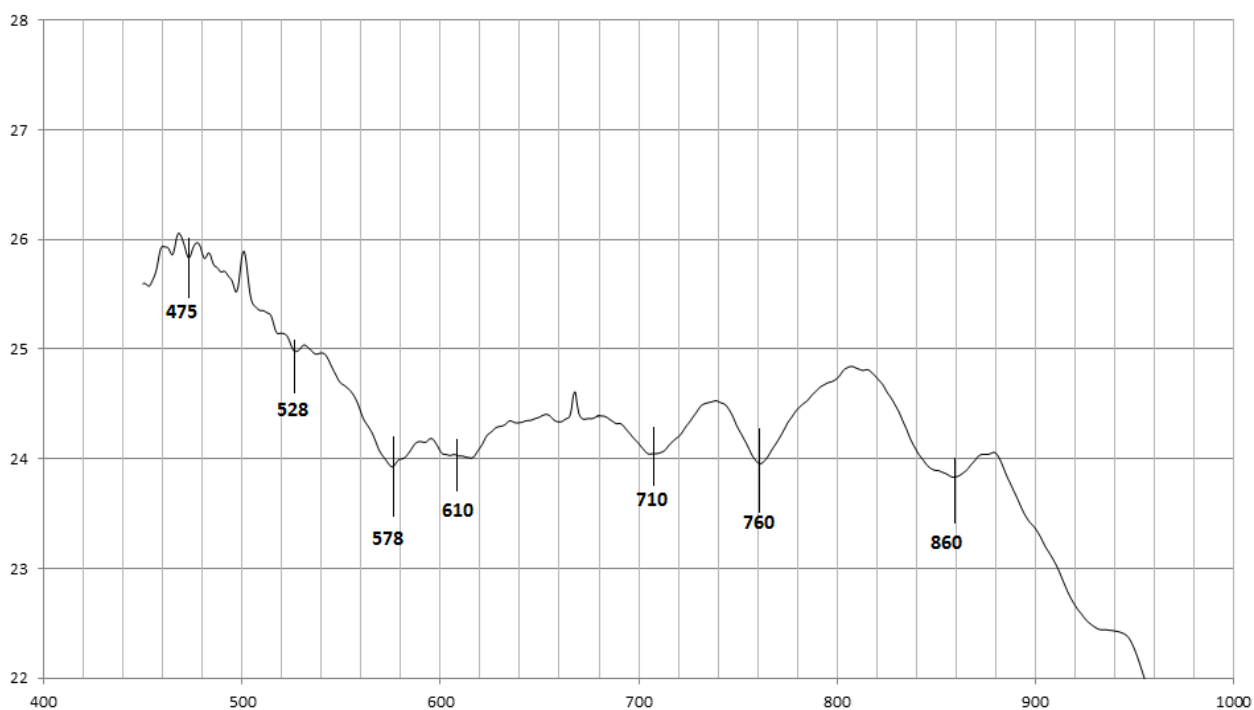


Рис.4.19. ІЧ-спектр зразка тіста з борошняної суміші на основі вівсяного борошна з додаванням 3% желатину (в інтервалі $400 \dots 1000 \text{ cm}^{-1}$)

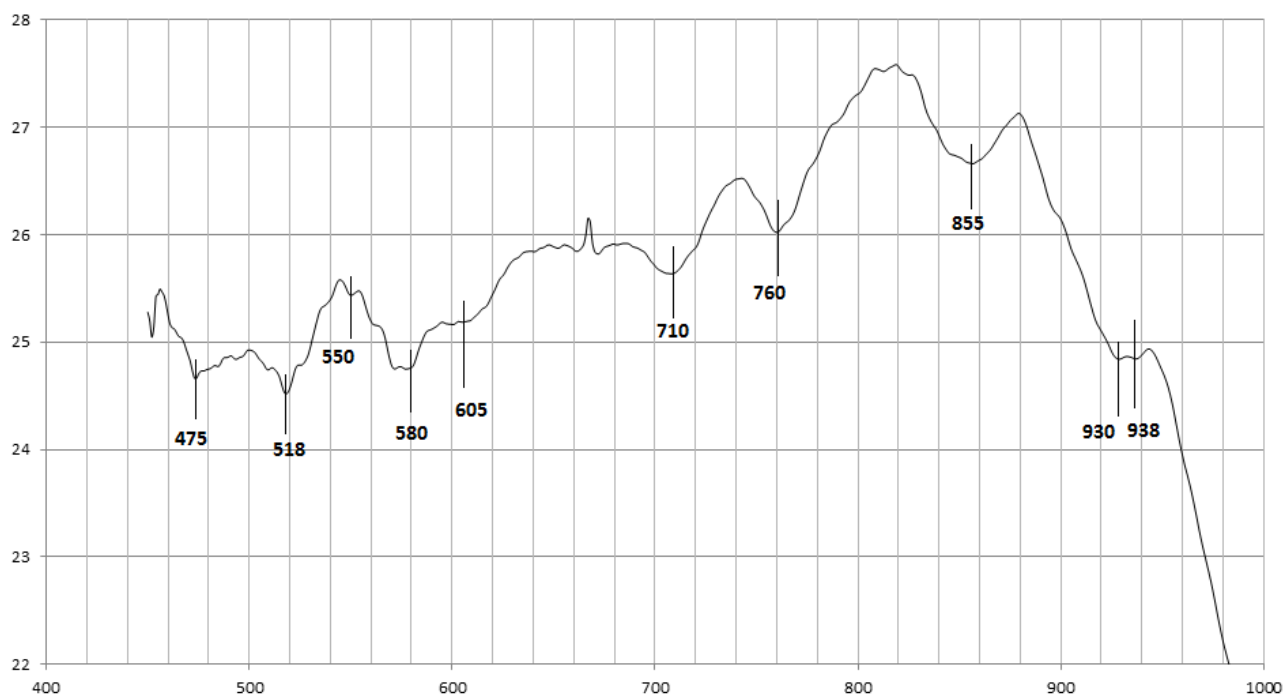


Рис.4.20. ІЧ-спектр зразка тіста з борошняної суміші на основі вівсяного борошна з додаванням 3% желатину та 0,05% ТГ (в інтервалі $400 \dots 1000 \text{ cm}^{-1}$)

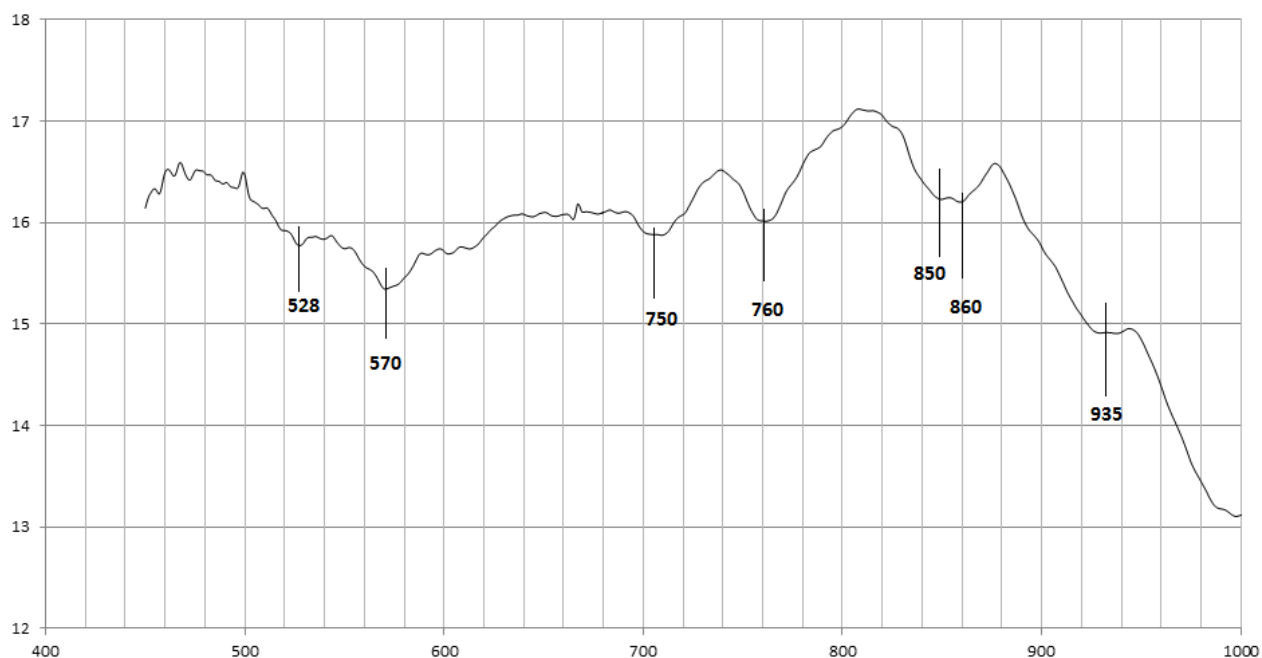


Рис.4.21. ІЧ-спектр зразка тіста з борошняної суміші на основі кукурудзяного борошна (в інтервалі 400...1000 cm^{-1})

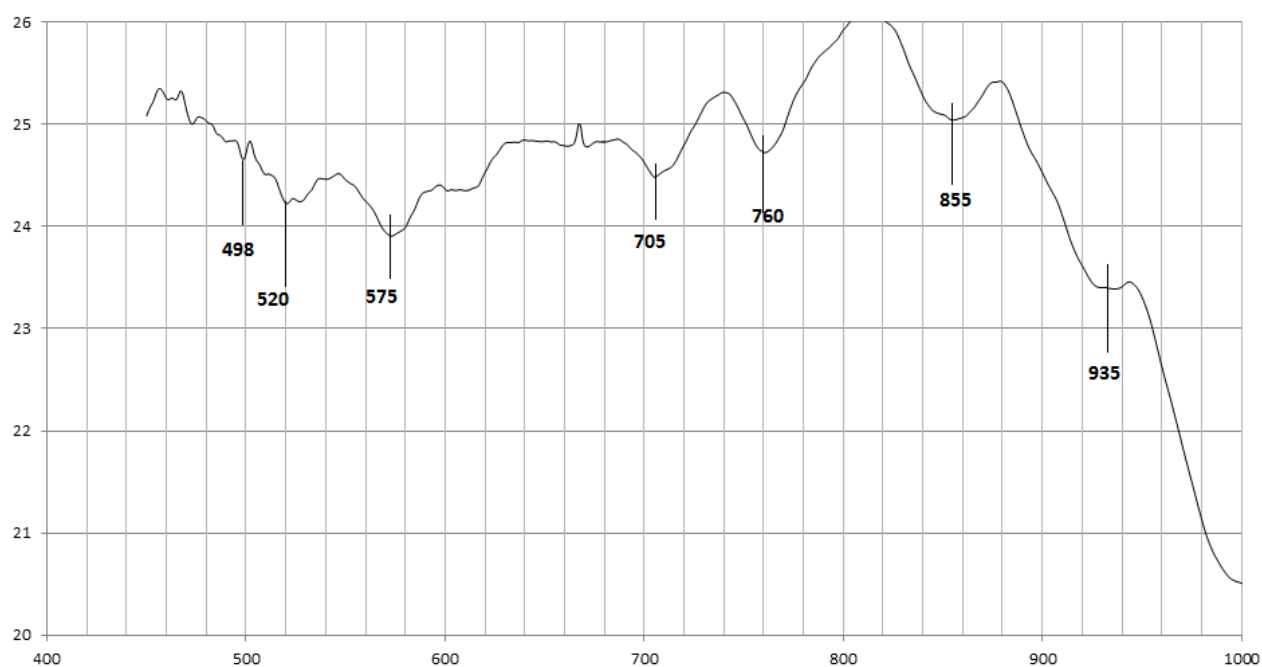


Рис.4.22. ІЧ-спектр зразка тіста з борошняної суміші на основі кукурудзяного борошна з додаванням 0,05% ТГ (в інтервалі 400...1000 cm^{-1})

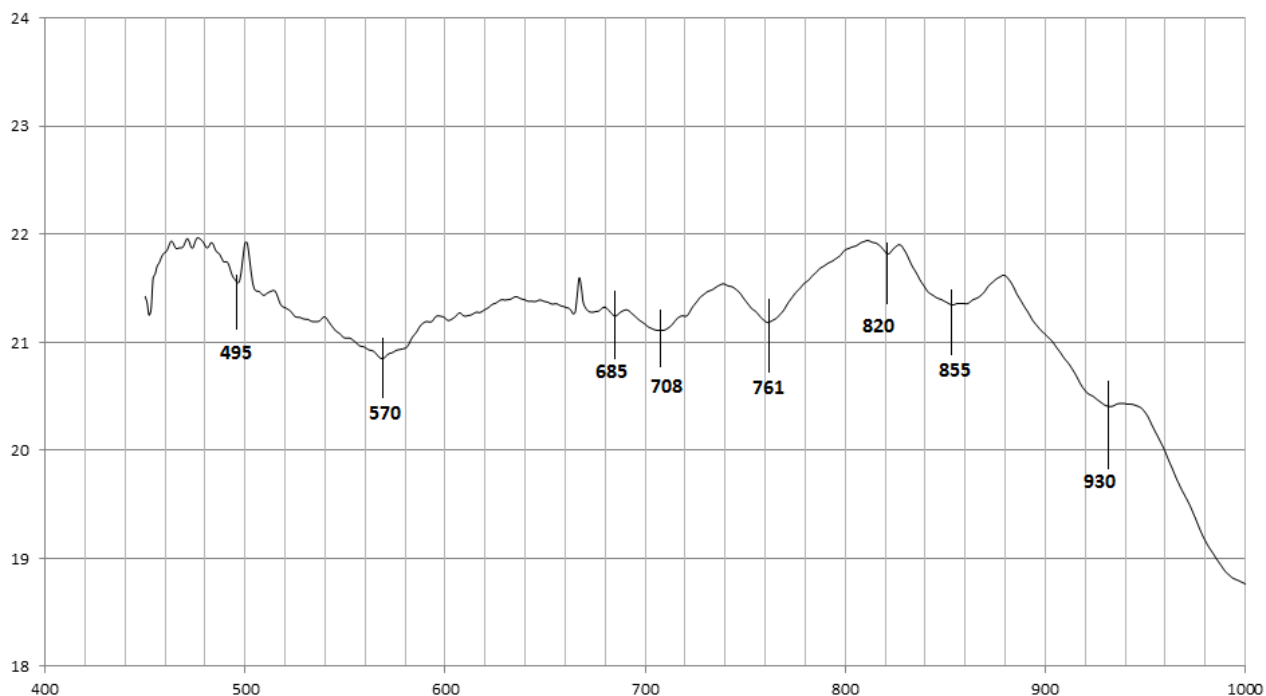


Рис.4.23. ІЧ-спектр зразка тіста з борошняної суміші на основі кукурудзяного борошна з додаванням 3% желатину (в інтервалі 400...1000 cm^{-1})

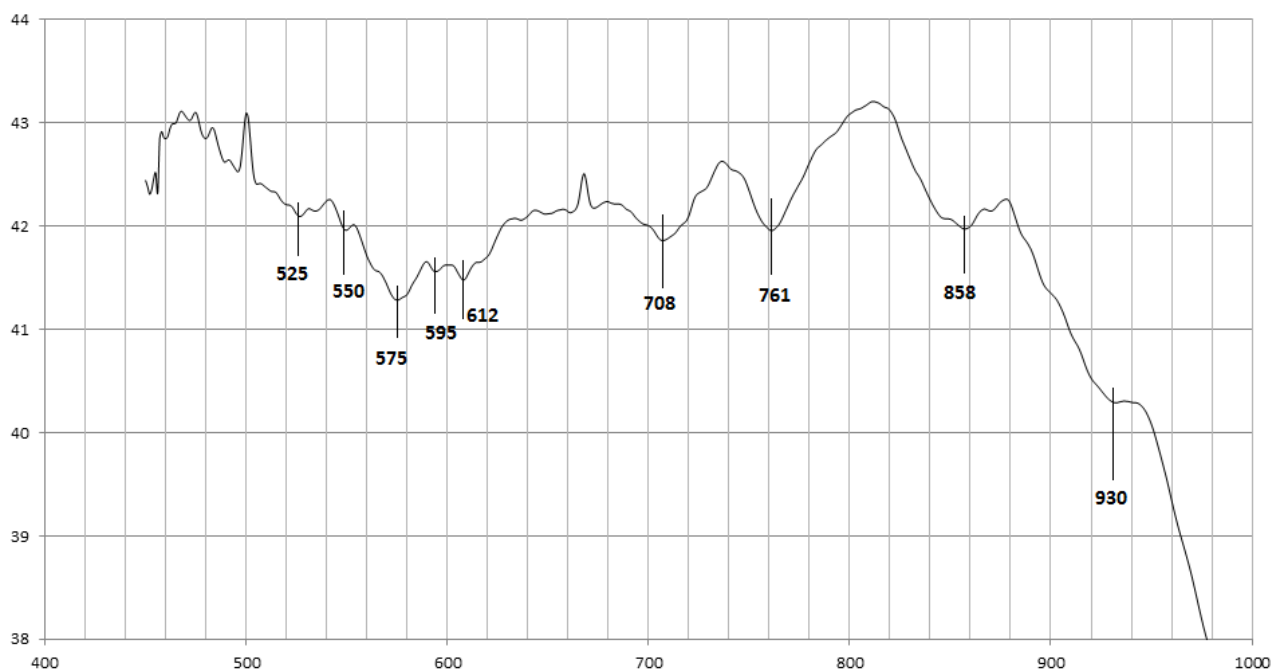


Рис.4.24. ІЧ-спектр зразка тіста з борошняної суміші на основі кукурудзяного борошна з додаванням 3% желатину та 0,05% ТГ (в інтервалі 400...1000 cm^{-1})

Таким чином, результатами ІЧ-спектроскопічних досліджень підтверджено конфірмаційні зміни білкових речовин тіста шляхом упорядкування їх просторової структури.

4.4.2. Дослідження іонозв'язувальної здатності білків

Відомо, що ТГ каталізує утворення ковалентних зв'язків між вільними аміногрупами (вільних або з бічних ланцюгів лізину) і гамма-карбоксамідними групами глютаміну [100, 101, 102]. Отже, зміна кількості заряджених угруповань на поверхні білкової молекули свідчитиме на користь каталітичного впливу ТГ в тісті.

Для доведення механізму взаємодії добавок із борошном нами застосовано метод потенціометричного титрування. На сьогодні цей метод є одним із найбільш точних та інформативних, за допомогою якого можна оцінити зміну поверхневого заряду білкової молекули. Поверхневий заряд молекули та водневі зв'язки, які стабілізують гідратну оболонку білків, відіграють найважливішу роль у збереженні рівноважного стану білків у розчинах [209]. Зміну поверхневого заряду білкових молекул борошна та інших видів білкової сировини можна викликати додаванням ТГ завдяки її унікальній здатності модифікувати функціональні групи білків та сприяти їх зшиванню.

Досліджували водно-борошняні суспензії на основі безглютенових видів борошна (кукурудзяного, рисового та їх сумішей) з добавками КВБ і ферменту ТГ. Експериментальними дослідженнями встановлено, що застосування ТГ помітно змінює буферні властивості борошна.

На першому етапі титрування здійснювали кислотою. На рис.4.25...4.26 наведено результати титрування на прикладі водно-борошняних суспензій із додаванням желатину (окремо та в присутності ферменту ТГ) на основі кукурудзяного та рисового борошна. Встановлено, що хід кривих цих водно-борошняних суспензій не збігається на етапі початкового титрування в інтервалі рН вище 4 (кукурудзяне борошно) або вище 3 (рисове борошно). Такі дані підтверджують можливі зміни поверхневого заряду білкових молекул. Додавання желатину (в кількості 3% до води) змінює буферну ємність суспензій. Темп зниження значення рН за додавання желатину сумісно з ферментом є найнижчим.

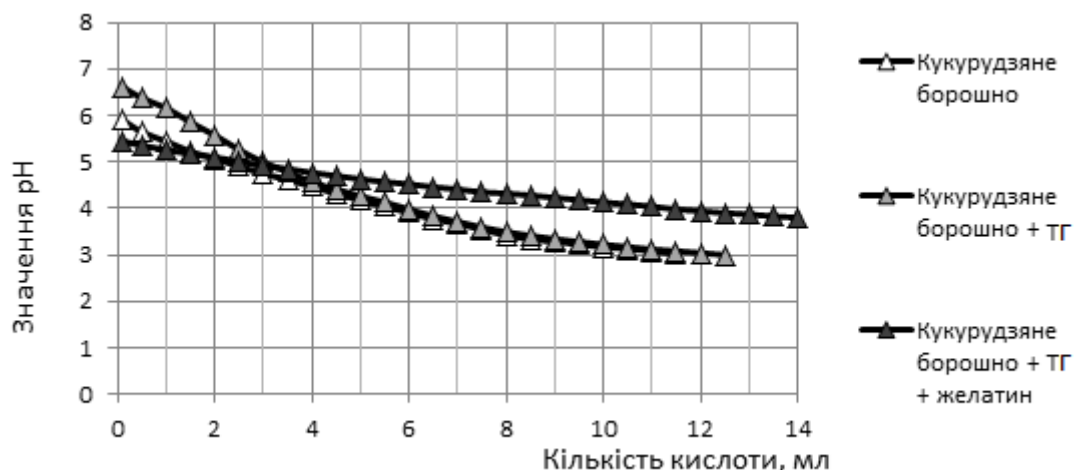


Рис.4.25. Залежність рН від кількості кислоти, доданої до водно-борошняних суспензій з використанням кукурудзяного борошна, 0,05% ТГ та 3,0% желатину

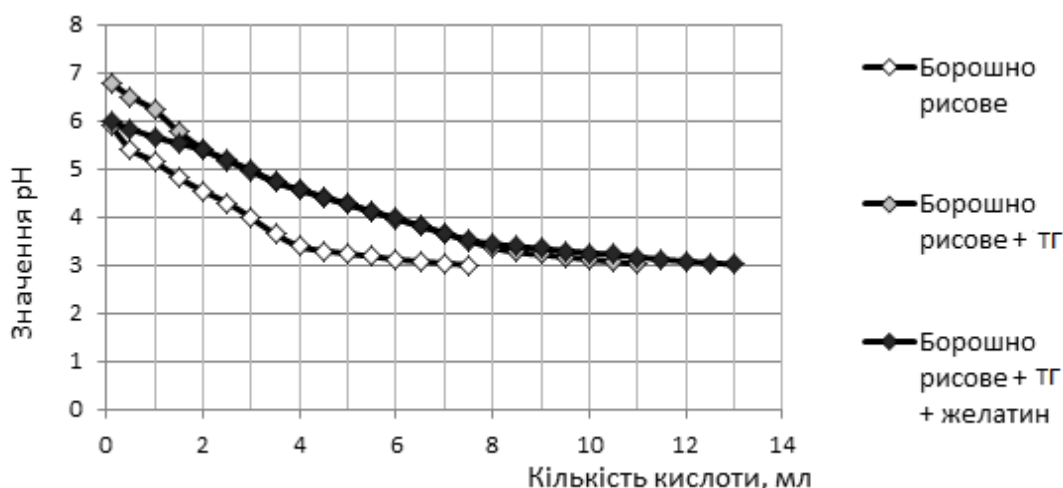
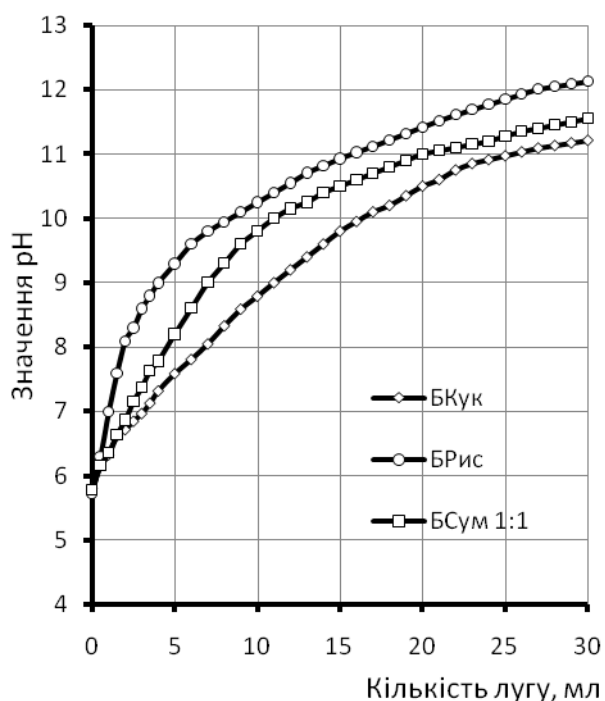


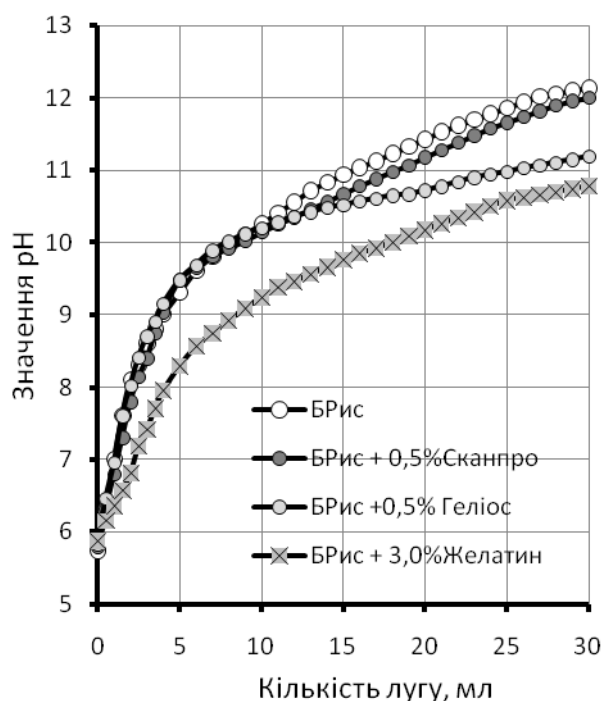
Рис.4.26. Залежність рН від кількості кислоти, доданої до водно-борошняних суспензій з використанням рисового борошна, 0,05% ТГ та 3,0% желатину

Це свідчить про те, що ці зразки найбільшою мірою здатні зв'язувати іони H^+ , внаслідок чого зниження значення рН системи відбувається повільніше. Так, темп зниження рН за додавання 4мл кислоти під час титрування дорівнює: для рисового борошна – 0,625 од/мл (контрольний зразок), 0,355 од/мл (з додаванням желатину та ТГ); для кукурудзяного борошна – 0,358 од/мл та 0,170 од/мл відповідно.

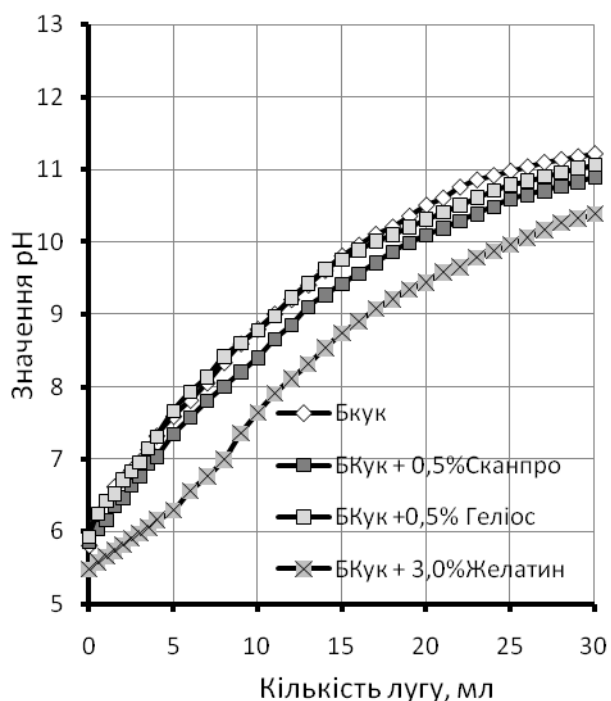
На рис.4.27 представлені результати лужного титрування водно-борошняних суспензій з КВБ. Результати титрування лугом водно-борошняних суспензій за додавання КВБ разом із ферментом представлені на рис.4.28.



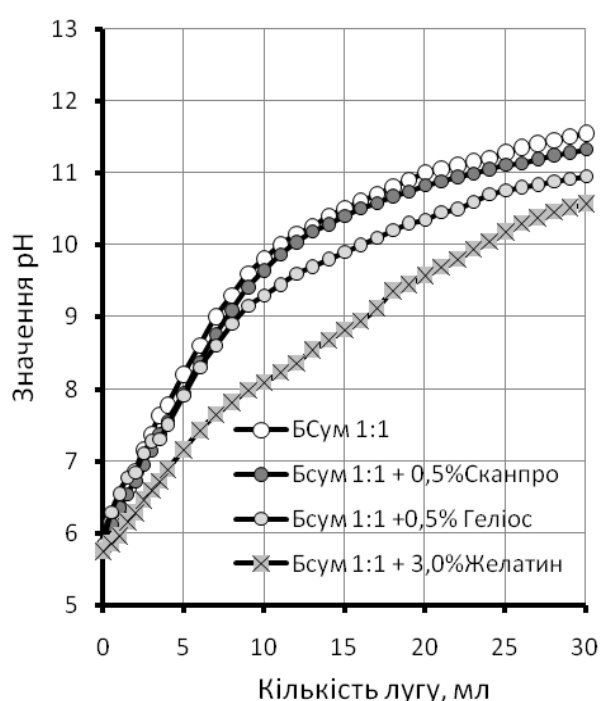
а



б



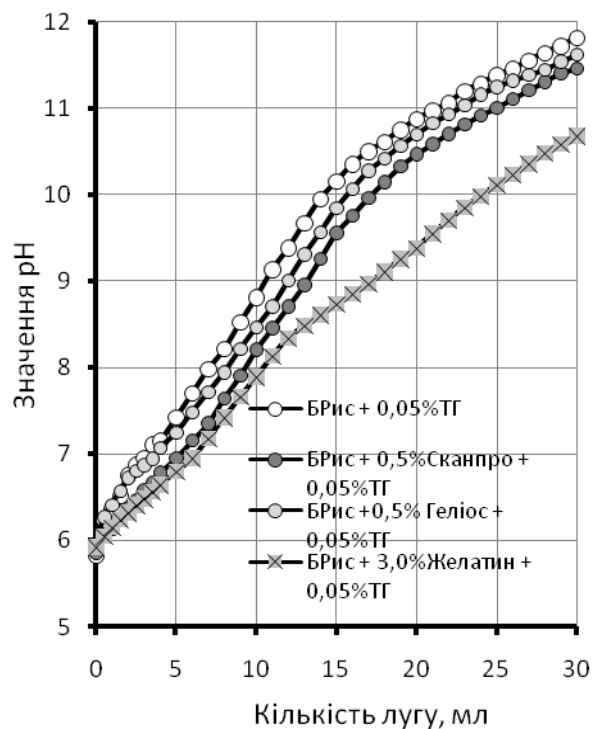
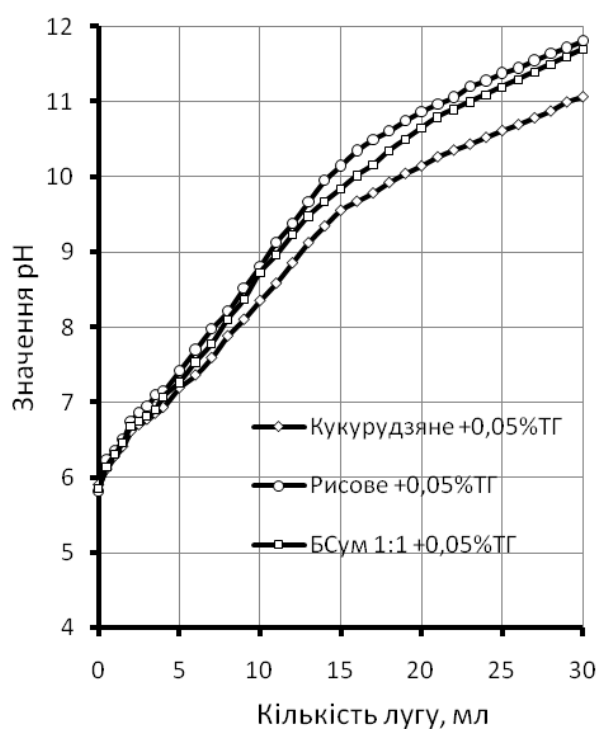
в



г

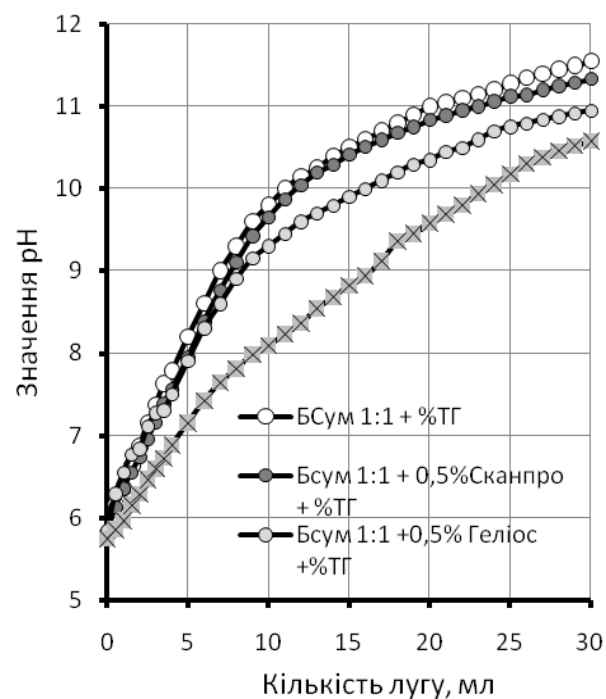
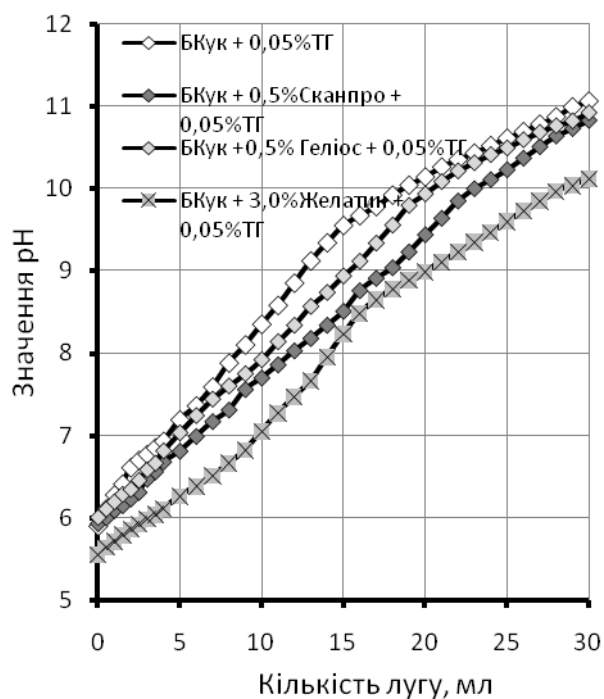
Рис.4.27. Залежність рН від кількості лугу, доданого до водно-борошняних суспензій із використанням кукурудзяного, рисового борошна та їх суміші 1:1 без добавок (а) та в присутності КВБ (б,в,г)

Ці дані підтверджують описані раніше і представлені на рис.4.27. Загальним є те, що за додавання однакової кількості лугу значення Рн є різним, якщо до борошна додавати фермент або КВБ.



а

б



в г

Рис.4.28. Залежність рН від кількості лугу, доданого до водно-борошняних суспензій з введенням ферменту ТГ до кукурудзяного, рисового борошна та їх суміші 1:1 без добавок (а) та в присутності КВБ (б,в,г)

Нами проведено порівняльний аналіз кривих зміни рН на прикладі титрування борошна рисового з ферментом (рис.4.29). Як бачимо, є суттєві розбіжності між значеннями рН, які вказують на зміну здатності борошна зв'язувати іони водню та гідроксильні іони, якщо додавати фермент ТГ.

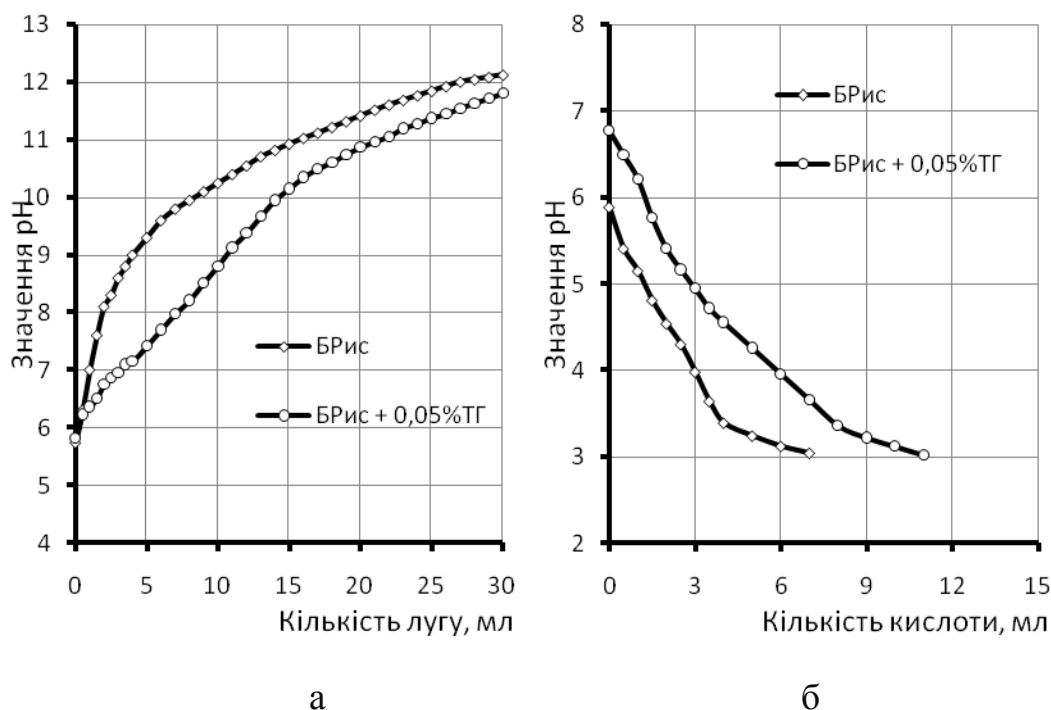


Рис.4.29. Залежність рН від кількості лугу (а) та кислоти (б), доданих до водно-борошняної суспензії на основі рисового борошна з додаванням ферменту ТГ

Нами розраховано кількість зв'язаних іонів H^+ та OH^- у водно-борошняних суспензіях. Кількість зв'язаних іонів знаходили з урахуванням різниці між величиною рН води (pH_v) та розчину (pH_p) при титруванні певною кількістю кислоти V_k (або лугу) за формулою:

$$[H^+] = \frac{V_k}{10 \cdot 1,25 \cdot (1 - 10^{pH_v - pH_p})} \quad (4.1)$$

Результати наведено в табл.4.8.

Як видно, загальна кількість зв'язаних іонів (водню або гідроксильних) за додавання 5 мл титранту (кислоти або лугу) у водно-борошняній суспензії помітно зростає, якщо застосовувати добавки ТГ та КВБ (разом – найбільшою мірою).

Таблиця 4.8

**Розрахунок експериментально визначеної кількості зв'язаних іонів у
водно-борошняних суспензіях (рівень надійності 0,95)**

Склад зразка	Кількість зв'язаних іонів			
	H ⁺ ·10 ³ , моль/г		OH ⁻ ·10 ³ , моль/г	
	при титруванні водно-борошняній суспензії на основі борошна			
	рисового	кукурудзяного	рисового	Кукурудзяного
0,5 мл кислоти (pH=3,5) або 0,5 мл лугу (pH=9,6)				
Без добавок	39,42	39,66	39,98	39,99
0,05%ТГ	39,95	39,94	39,98	39,99
0,05%ТГ+3,0% желатин	39,78	39,34	39,99	40,00
1,0 мл кислоти (pH=3,2) або 1,0 мл лугу (pH=10)				
Без добавок	79,08	79,53	79,95	79,98
0,05%ТГ	79,92	79,91	79,98	79,98
0,05%ТГ+3,0% желатин	79,71	79,29	79,99	80,00
5 мл кислоти (pH=2,6) або 5 мл лугу (pH=10,6)				
Без добавок	304,02	388,73	141,6	159,87
0,05%ТГ	390,83	390,83	159,9	159,95
0,05%ТГ+3,0% желатин	391,04	396,10	160,0	160,00

Враховуючи, що за наявності ферменту між білками відбувається взаємодія, за результатами титрування (зр. 1 – водна суспензія борошна, зр. 2 – водний розчин ферменту, зр. 3 – водна суспензія борошна з ферментом) нами було розраховано та порівняно: а – сумарну кількість іонів, зв'язаних борошном та ферментом (шляхом сумування даних зразків 1 та 2), коли взаємодія між ними відсутня; б – кількість іонів, зв'язаних борошном та ферментом (зразок 3), коли взаємодія відбувається. Таким чином, порівнювали теоретично можливу кількість зв'язаних іонів (а) та експериментально встановлену (б). Дані представлені в табл. 4.9. Розходження даних свідчить про неадитивне зв'язування іонів H^+ і OH^- білковими молекулами, тобто про взаємодію між добавкою і борошном. При чому, розходження між теоретичними та експериментальними даними зі зниженням рН у кислий бік є більш суттєвим.

Це узгоджується з даними щодо взаємодії між амінокислотами лізином та глютаміною кислотою, які здатні до зв'язування іонів H^+ і OH^- відповідно. Оскільки кількість їх вільних залишків за додавання ферменту ТГ зменшується (бо вони взаємодіють один з одним), то й експериментальна кількість зв'язаних іонів менша, ніж вони здатні зв'язувати.

Таблиця 4.9

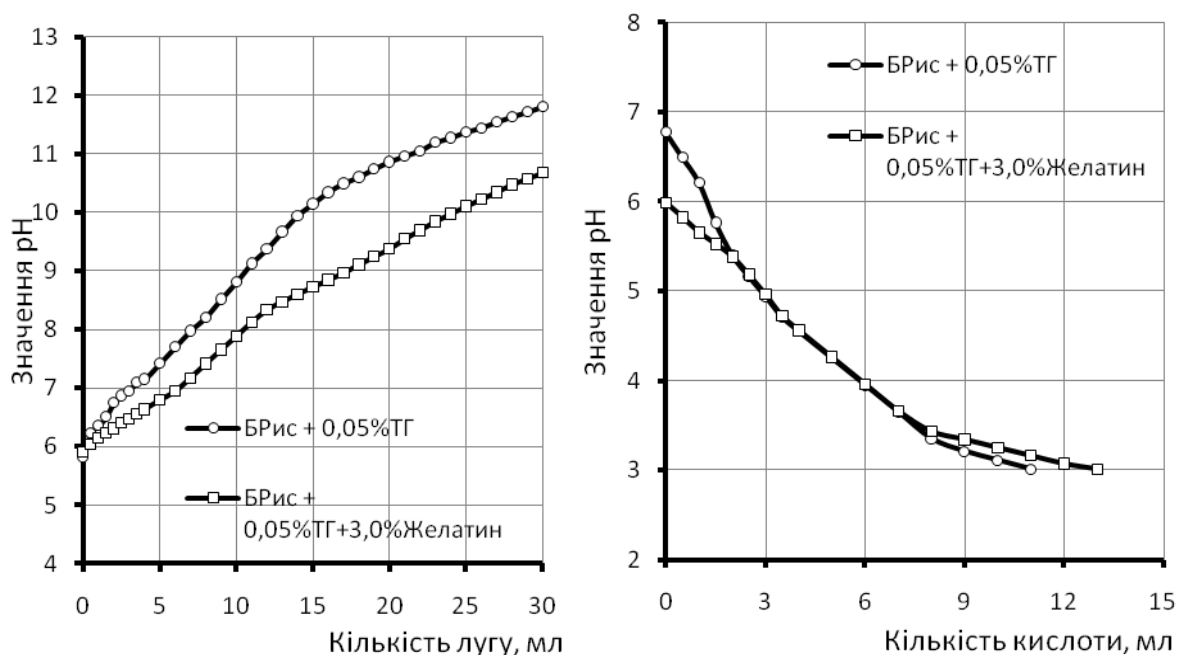
Порівняння кількості зв'язаних іонів (встановлених експериментально та розрахунково) у водно-борошняній суспензії на основі рисового борошна з додаванням 0,05% ТГ (рівень надійності 0,95)

Кількість титранту	Кількість зв'язаних іонів					
	$H^+ \cdot 10^3$, моль/г			$OH^- \cdot 10^3$, моль/г		
	Розрах. (зр.1+зр.2)	Експ.* (зр.3)	Δ	Розрах. (зр.1+зр.2)	Експ.* (зр.3)	Δ
0,5 мл	79,25	39,95	39,30	59,93	39,98	19,95
1,0 мл	124,16	79,92	44,24	125,03	79,98	45,05
5,0 мл	503,55	390,83	112,72	174,54	159,91	14,63

Тут: * - дані з табл.4.8

Іоногенні і полярні групи білкової молекули, перебуваючи зазвичай на поверхні білкової глобули, визначають кислотно-лужні властивості та заряд білкової молекули. Розглянемо поведінку лізину і глютамінової кислоти (які є учасниками реакції під впливом ТГ) у розчині під час титрування. Глютамінова кислота надає білку кислих властивостей; дисоціація її карбоксильних груп є джерелом негативних електричних зарядів на поверхні білкової молекули. Тобто її здатність зв'язувати вільні іони OH^- виявляється в лужному середовищі. Лізин здатен до протонування, надає білку лужних властивостей і виявляє себе, зв'язуючи вільні іони H^+ в кислому середовищі. Застосування ТГ модифікує нативну конформацію макромолекул білків, знижуючи кількість вільних залишків лізину та глютамінової кислоти, що виявляється у зміні іонозв'язувальної здатності під час титрування як кислотою, так і лугом.

Наступним кроком у дослідженні в цьому напрямі було визначення і порівняння кількості зв'язаних іонів H^+ і OH^- за додавання КВБ сумісно з ферментом. Результати представлені на рис.4.30 та в табл.4.10.



а

б

Рис.4.30.Залежність рН від кількості лугу (а) та кислоти (б), доданих до водно-борошняної суспензії на основі рисового борошна з додаванням ферменту ТГ та желатину

Таблиця 4.10

Порівняння кількості зв'язаних іонів (встановлених експериментально та розрахункових) у водно-борошняній суспензії на основі рисового борошна з додаванням 3,0% желатину та 0,05% ТГ (рівень надійності 0,95)

Кількість титранту	Кількість зв'язаних іонів					
	$H^+ \cdot 10^3$, моль/г			$OH^- \cdot 10^3$, моль/г		
	Розрах. (зр.1+зр.2)	Експ.* (зр.3)	Δ	Розрах. (зр.1+зр.2)	Експ.* (зр.3)	Δ
Рисове борошно, 3% желатину та 0,05% ТГ						
0,5 мл	85,10	39,78	45,32	73,71	39,99	33,72
1,0 мл	139,92	79,71	60,21	140,12	79,99	60,13
5,0 мл	541,59	391,04	150,55	180,25	160,00	20,25

Тут: * - дані з табл.4.8

Порівняння даних табл.4.3 свідчить про ще більш суттєві розходження між теоретичними та експериментальними даними. Це можна пояснити зв'язуванням додаткової кількості залишків лізину та глютамінової кислоти, носієм яких є білкові молекули желатину.

4.4.3. Розділення білкових фракцій за молекулярними масами

Стан білкових речовин у безглютеновому борошняному тісті за додавання білків і ферменту ТГ досліджували оцінюванням вмісту загального, білкового та небілкового азоту, а також розділенням білків різних фракцій за молекулярною масами в SDS-ПААГ в системі Лемлі. Застосований метод (електрофорез у поліакриламідному драглі у присутності додецил-сульфату натрію) є одним із поширених у біохімії методів і дозволяє не лише розділити суміш, що містить велику кількість різних видів макромолекул, але й охарактеризувати їх за зарядом, молекулярною масою та конформацією.

На першому етапі дослідження проведено порівняльний аналіз вмісту білкового та небілкового азоту у виробках без добавки, а також при внесенні желатину (окремо та за наявності ферменту ТГ). За додавання желатину (рис.4.31) помітно зменшується вміст білкового азоту, а зростає – небілкового азоту (вдвічі). Такі суперечливі, на перший погляд, дані можна пояснити способом отримання желатину (нами застосовано желатин, отриманий у кислотний спосіб).



Рис.4.31. Вплив добавок желатину та ферменту ТГ на вміст загального, білкового (2) та небілкового (1) азоту

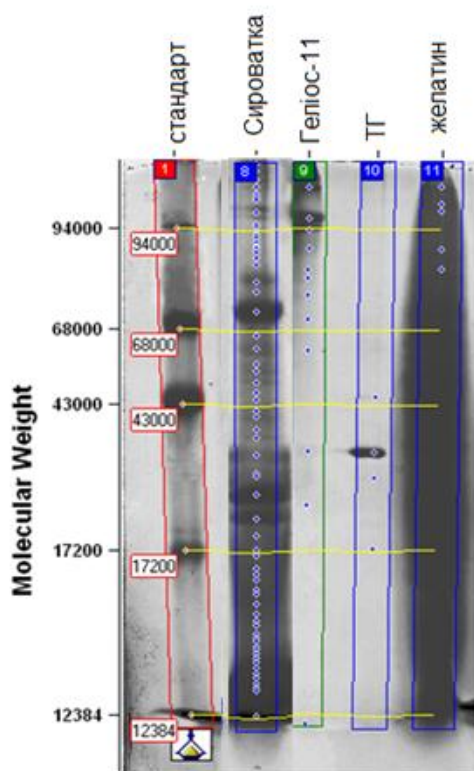


Рис. 4.32. Електрофоретичне розділення білків в SDS-ПААГ в системі Лемлі 12,5% після забарвлення фарбником Кумасі R-250. Треки:

- 1 – стандарти,
- 8 – сироватка;
- 9 – Геліос -11;
- 10 – фермент ТГ;
- 11 – желатин

Такий желатин має додаткову кількість позитивно заряджених іонів, які при розчиненні можуть зумовлювати більш активне протікання гідролітичних процесів, збільшуючи вміст небілкового азоту. Додавання ферменту ТГ виявляє зворотну тенденцію – вміст білкового азоту зростає, а небілкового – зменшується; очевидно, завдяки здатності трансглютамінази зшивати вільні залишки лізину та глютамінової кислоти. Для більш повного розуміння процесів, що відбуваються, нами проаналізовано дані щодо впливу ТГ на вміст білкового та небілкового азоту в безглютеновій борошняній суміші (борошно кукурудзяне: борошно рисове 1:1). Дані показують, що взаємодія ферменту ТГ з білками борошняної суміші є мінімальною, бо вміст білкового та небілкового азоту практично не змінюється.

Після проведення електрофорезу і фарбування проводили сканування гелю і цифрову обробку отриманих результатів. На рис.4.32 наведено зображення пластинки гелю, оброблене у програмі Totallab 2.0, у якому проходило розділення білкових екстрактів дослідних зразків.

Після фарбування гелю виявлено, що в одинадцятій лунці білок рухався суцільною масою. У смузії чітко видно гетерогенність зразка. Швидше за все, зразок представлений сумою обривків гідролізованих α -частинок колагену (вихідна Мм = 1000 кДа). Зразок із трансглютаміназою (трек 10) розділювався з основним піком Мм = 36 кДа. Також присутні мінорні піки, загальний обсяг яких

менше 5%. Зразок сухого матеріалу «Геліос-11» (трек 9) представлений в основному чотирма смугами з молекулярною масою 120, 115, 100 і 96 кДа відповідно. Отриманий результат характерний для поділу колагенових білків, так як молекулярна маса одного ланцюга дорівнює 100 кДа залежно від видової специфічності, тканини і способу отримання. Трек, що містить сироватку, показав гетерогенність вихідного матеріалу з наявністю великої кількості піків (трек 8). Отримані результати, можливо, пояснюють дані щодо зменшення вмісту небілкового азоту і зростання – білкового азоту за додавання ТГ.

4.5. Стан вуглеводно-амілазного комплексу тіста

Крохмаль борошна відіграє важливу роль у технології безглютенових хлібобулочних виробів. Процес клейстеризації крохмальних зерен залежить як від природи та властивостей борошняної сировини, так і від середовища клейстеризації. До властивостей сировини відносять стан крохмальних зерен, ступінь їх ушкодження, активність амілолітичних ферментів.

Вважають, що вплив ТГ на властивості крохмалю тіста є суттєво меншим порівняно з впливом на білки. Можливо, це пояснюється тим, що частка крохмалю розташовується в білковій мережі, що формується через додатково утворені трансглютаміназою поперекові зшивки. Це знижує ступінь клейстеризації крохмалю та в'язкість. Як доведено Bonetetal [210], зростання вмісту білка може змінювати здатність крохмалю до клейстеризації. Крім того, ТГ призводить до зростання поглинутої білком води, яка може бути доступною крохмалю під час клейстеризації [211].

Таким чином, оброблення борошна трансглютаміназою як безпосередньо, так і в присутності колагенвмісних білків може впливати на стан вуглеводно-амілазного комплексу борошна. Тому нами досліджено показники, які кількісно та якісно характеризують процес клейстеризації водно-борошняної та крохмальної суспензій. На амілографі Брабендера ASG досліджували температуру

клейстеризації та максимальну в'язкість клейстерів борошняної суміші з добавками (табл.4.11,4.12).

Таблиця 4.11

Показники процесу клейстеризації водно-борошняної суспензії з кукурудзяного борошна, обробленого трансглютаміназою у присутності желатину
(рівень надійності 0,95)

Склад Зразка	Температура клейстеризації, °C		Δt , °C	Максимальна в'язкість, η , од.ам.	Швидкість зростання η , од.ам./°C
	$t_{\text{поч.}}$	$t_{\text{кін.}}$			
Борошно кукурудзяне (Бкук)	66	81	15	680	44,2
Бкук + 0,05% ТГ	66	81	15	650	42,2
Бкук + 0,10% ТГ	66	81	15	690	44,8
Бкук + 3% желатин + 0,05% ТГ	66	95	29	430	15,0
Бкук + 3% желатин + 0,10% ТГ	70	98	28	560	19,6

Таблиця 4.12

Показники процесу клейстеризації водно-борошняної суспензії з кукурудзяного борошна, обробленого трансглютаміназою в присутності КВБ
(рівень надійності 0,95)

Склад зразка	Температура клейстеризації, °C		Δt , °C	Максимальна в'язкість, η , од.ам.	Швидкість зростання η , од.ам./°C
	$t_{\text{поч.}}$	$t_{\text{кін.}}$			
Бкук + 1% Геліос11 + 0,05% ТГ	59	79	20	660	33,3
Бкук + % Геліос11 + 0,10% ТГ	59	79	20	680	40,4
Бкук + 1% Сканпро Т95 + 0,10% ТГ	68	86	18	610	34,7
Бкук + 1% Сканпро Т95 + 0,05% ТГ	66	84	18	680	38,6

З отриманих даних видно: тривалість процесу клейстеризації водно-борошняної суспензії за додавання ТГ практично не змінюється, але за додавання желатину разом з ТГ суттєво гальмується (розпочинається за близьких до контрольного зразка температур, а закінчується за вищих температур). Очевидно, це пов'язано з підвищенням водопоглинальної здатності білкових молекул у присутності ТГ внаслідок утворення більш розвинутої гетерогенної структури. Одночасно знижується максимальна в'язкість (на 120...250 од.ам.) та швидкість нарощення в'язкості.

За додавання Геліос-11 та Сканпро Т95 максимальна в'язкість суспензій зменшується дуже незначно, але в присутності ТГ - зростає. Швидкість зростання в'язкості є дещо більшою порівняно з желатином, проте, контрольний зразок не перевищує. Відмічається також помітне зниження температурних меж початку та закінчення процесу клейстеризації в разі додавання Геліос-11 порівняно з желатином. Можливо, більш низька в'язкість суспензії безглютенового борошна у присутності білків і ферменту позитивно впливатиме на процес тістоутворення, враховуючи високу в'язкість тістових мас на основі безглютенових видів борошна.

Вивчення деформаційних процесів у безглютеновому тісті з добавками-регуляторами структури дозволило встановити:

- посилення пружно-еластичних та зниження пластичних характеристик тіста. Це можна пояснити зміною конфірмаційного стану білкових речовин борошна та утворенням додаткових міжмолекулярних зв'язків. Макромолекули перетворюються на більш жорсткі та міцні утворення з більш упорядкованою просторовою структурою та набагато більш низькою текучістю. Підтверджено рекомендовану кількість добавок-регуляторів структури: желатину – 2...3% у вигляді водного розчину, що використовується для замісу тіста; Геліос-11 та Сканпро Т95 – 1...2% до маси борошна; фермент ТГ – 0,05...0,10% до маси борошна;

- зниження розпливчастості кульки тіста, що свідчить про уповільнення розслаблення структури тіста з добавками і в технологічному аспекті сприятиме збільшенню формостійкості подових виробів;

- зниження міцності адгезії тіста на 23...25%. Підвищення температури рідкої фази тіста призводить до більш суттєвого зниження міцності адгезії (на 35...40%), що пояснюється підвищенням ефективності дії ТГ за температури 45°C. Когезійний відрив за наявності добавок починається пізніше. Встановлені зміни дозволяють нівелювати небажане зростання адгезії тіста під час його дозрівання та випікання.

Дослідження мікробіологічних процесів у безглютеновому тісті дозволило стверджувати:

- процес кислотонакопичення в контрольному та дослідних зразках має подібний характер; найнижчі значення – у зразка з додаванням желатину. Проведені дослідження зміни титрованої кислотності безглютенового тіста підтверджують вказані тенденції. Застосування добавок незначно знижує досліджуванний показник, за додавання ферменту ТГ – більшою мірою;

- газоутворювальна здатність змінюється залежно від виду борошна: для кукурудзяного борошна цей показник найвищий, для рисового – найнижчий, для суміші він має середнє значення. Це можна пояснити різним вмістом цукрів у складі цих видів борошна. Наявність білків збільшує ГУЗ на 5...8 %. За додавання ферменту ГУЗ борошна незначно зменшується, можливо, внаслідок конфірмаційних перетворень білків;

- за додавання желатину дещо зменшується здатність тіста накопичувати та зброджувати цукри. Наявність ферменту ТГ незначно гальмує ці процеси. Можливо, ТГ завдяки буферним властивостям здатна незначно зміщувати значення рН середовища, відсуваючи його від оптимального значення для амілолітичних ферментів.

Визначення гідратаційних властивостей безглютенового тіста доводить ефективний вплив ферменту трансглютаміназа щодо посилення ВУЗ тіста з безглютенового борошна. У присутності КВБ втрати вологи під час сушіння тіста

помітно зменшуються, найпомітніше – у тісті з суміші рисового та кукурудзяного борошна у співвідношенні 1:1.

Вивчено стан білково-протеїназного комплексу безглютенового борошняного тіста:

- за даними інфрачервоноспектроскопічного аналізу за наявності добавок (желатину або ферменту) з'являються нові піки поглинання, які можуть бути віднесені до коливань карбоксильної групи COO^- або слабких скелетних коливань пептидної групи і бокових ланцюгів. Посилюються смуги поглинання, які вказують на зростання інтенсивності валентних коливань C=O -груп простих ефірів та пласких деформаційних коливань CH -груп відповідно;

- методом потенціометричного титрування показано неадитивне зв'язування іонів H^+ і OH^- білковими молекулами, що вказує на взаємодію між добавками і борошном. Застосування ферменту ТГ модифікує нативну конформацію макромолекул білків, знижуючи кількість вільних залишків лізину та глютамінової кислоти, що виявляється у зміні іонозв'язувальної здатності під час титрування як кислотою, так і лугом;

- за додавання ферменту ТГ до безглютенової борошняної суміші вміст білкового та небілкового азоту практично не змінюється. Використання ТГ в присутності желатину призводить до зростання вмісту білкового азоту та зниження – небілкового.

Досліджено стан вуглеводно-амілазного комплексу тіста і встановлено:

- тривалість процесу клейстеризації водно-борошняної суспензії за додавання ТГ незначно зменшується, що пов'язано з підвищенням водопоглинальної здатності білкових молекул в її присутності. Знижується максимальна в'язкість борошняних суспензій безглютенового борошна в присутності білків і ТГ, що позитивно впливатиме на процес тістотворення, враховуючи високу в'язкість тістових мас на основі безглютенових видів борошна порівняно з пшеничним борошном.

Результати власних досліджень, наведених в розд.4, опубліковані в роботах [212, 213, 214, 215, 216, 217, 218].

РОЗДІЛ 5

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Запропонований нами спосіб модифікації технологічних властивостей безглютенової борошняної сировини передбачає сумісне використання колагенвмісних білків із ферментом трансглютаміназа. Їх комбінація дозволяє суттєво поліпшити структурно-механічні властивості тіста і, як наслідок, структуру м'якушки безглютенових хлібобулочних виробів, їх зовнішній вигляд. Крім того, через те, що крохмаль як коректор структури нами рекомендовано не застосовувати, покращується і смак кінцевого продукту.

Таким чином, нами запропоновано сумісне застосування КВБ і ТГ як базовий технологічний принцип забезпечення стабільності технологічних властивостей безглютенової хлібопекарської продукції.

Обґрунтовуючи технологію безглютенових хлібобулочних виробів, ми керувалися такими аспектами:

- наявність у практиці сучасного хлібопечення одно- та двофазних способів тістоведення, які відрізняються режимами підготовки сировини, інтенсивністю та тривалістю окремих етапів, апаратурним оформленням виробничого процесу;
- необхідність уточнення способу введення добавок, ефективності їх дії у присутності додаткових рецептурних компонентів.

Для наукового обґрунтування технології хлібопекарської безглютенової продукції нового покоління на основі запропонованого способу модифікації структури, для визначення основних показників її якості та безпеки, також закономірностей їх зміни в технологічному потоці нами застосовано системний аналіз як загальний метод наукового дослідження.

5.1. Обґрунтування способу введення добавок

Виробництво хліба як цілісної технологічної системи складається з декількох підсистем (рис.5.1).

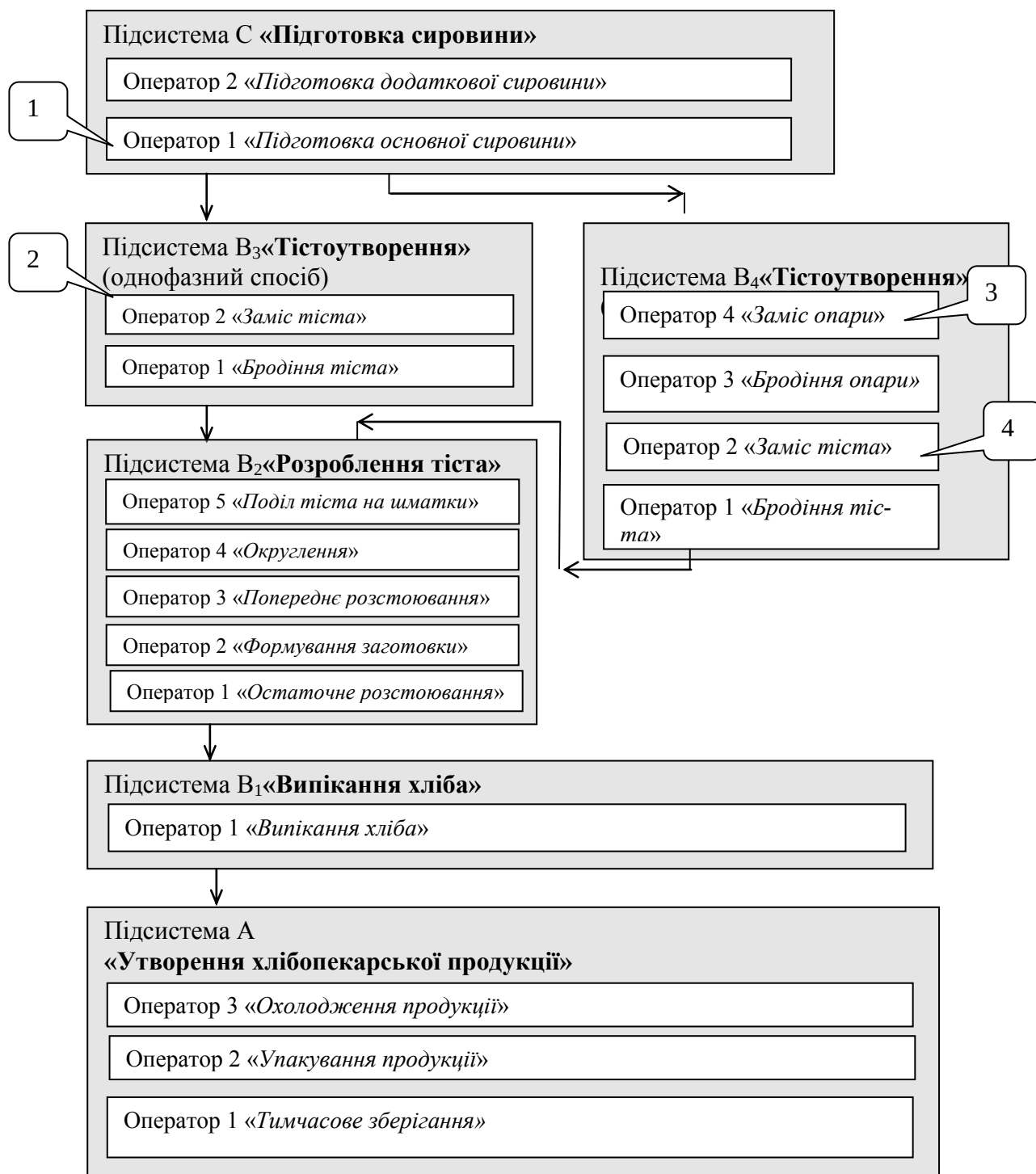


Рис.5.1. Операторна модель технологічної системи виробництва хлібопекарської продукції

Підсистема С включає: просіювання сипких компонентів рецептури, водопідготовку, приготування цукрового і сольового розчинів, розпакування дріжджів і приготування водно-дріжджової суспензії та ін.

Підсистема В включає: тістоутворення (V_4 – двофазний спосіб або V_3 – однофазний спосіб); розроблення тіста (V_2) та випікання хліба (V_1).

Підсистема А включає: охолодження випеченої продукції, її упакування та тимчасове зберігання (за потреби).

Першим кроком є обґрунтування способу і стадії введення в рецептуру виробів добавок у рекомендованих концентраційних межах. Для їх введення можна застосовувати наступні варіанти (рис.5.1):

- 1 – на стадії приготування водно-борошняної суспензії, або у вигляді сухої суміші разом із часткою борошна, або у водному розчині;
- 2 – на стадії замісу тіста при однофазному способі;
- 3 – на стадії замісу опари при двофазному способі;
- 4 – на стадії замісу тіста при двофазному способі.

Враховуючи фактор сумісності добавки з основою рецептурної суміші за технологічними властивостями, концентрати тваринних білків і фермент трансглютаміназу можна застосовувати в сухому вигляді (це порошкоподібні речовини) або в розчиненому (всі вони розчиняються у воді).

Нами проведено лабораторні випікання з використанням КВБ у вигляді порошків і водих розчинів. Доведено, що тільки в разі застосування желатину доцільним є використання його водного розчину в межах обраної концентрації. Розчини желатину отримують зазвичай за температури 60...70°C. Наступне охолодження розчину до температури 35...40 °C є прийнятним для замісу тіста (опари). Тобто, рекомендації щодо застосування желатину полягають у приготуванні його водного розчину заданої концентрації, який можна застосовувати для суспендування дріжджів (підсистема С, на рис.5.1, варіант 1) або замісу тіста (за однофазного способу тістоведення – підсистема V_3 , на рис.5.1, варіант 2), або замісу опари (за двофазного способу тістоведення – підсистема V_4 на рис.5.1, варіант 3).

Щодо добавок Геліос-11 та Сканпро Т95, то попередніми пробними лабораторними випіканнями встановлено, що суттєвого впливу спосіб підготовки КВБ (розчинення у воді або перемішування з сипкою сировиною) на якість кінцевого продукту не чинить. Також дослідженнями авторів [219] шляхом визначення їх оптичних властивостей доведено, що розчини є нестійкими, і частинки відносно швидко осідають на дно. Розшарування розчинів (власне білків, а також у складі водно-борошняної суспензії аглютенів видів борошна) відбувається протягом однієї години, причому більш інтенсивно протягом перших 10х60с. Тобто, зберігання розчинів цих добавок щонайменше потребує застосування додаткового обладнання (мішалки). Тому нами надано наступні рекомендації: Геліос-11 та Сканпро Т95 доцільно застосовувати у вигляді сухого порошку шляхом дво- або трикратного попереднього перемішування з борошном на етапі підготовки сировини (підсистема С на рис.5.1, варіант 1) з метою рівномірного розподілу КВБ.

Щодо ферменту ТГ, то нами розглянуто наступні варіанти:

1. розчинення у воді, наприклад, разом із дріжджами на етапі їх суспендування (підсистема С, на рис.5.1, варіант 1);
2. додавання на етапі замішування тіста або опари (підсистема В₃, В₄ на рис.5.1, варіант2 або 3).

У разі реалізації другого або третього варіанту температураоточуючого середовища для ферменту становить близько 30...35°C, бо це є найбільш прийнятна температура процесу тістоведення. Але враховуючи відомості про температурний оптимум для трансглютамінази (активність ферменту стрімко зростає в інтервалі від 40 до 50°C –[111]), застосовувати її за температури 30...35°C не є доцільним. Тому ефективним вважали запровадити стадію розчинення ферменту у воді за температури 40...45°C (для його активації) з подальшим використанням для замісу тіста або суспендування дріжджів. У такий спосіб температура тіста незначно зростає(до 35°C). Ми враховували, що за температури 35°C відбувається найбільш інтенсивне спиртове бродіння. В інтервалі 35...40°C швидко наростає кислотність тіста, оскільки даний інтервал темпера-

тур сприяє розвитку кислотоутворюючих бактерій, а життєдіяльність дріжджів у зазначеному температурному інтервалі ще вельми інтенсивна.

Фактор зростання кислотності тіста ми розглядали як позитивний, оскільки передбачали скорочення терміну тістоприготування через низьку газоутримувальну здатність безглютенового тіста. Тобто, підвищення температури і активний розвиток кислотоутворювальних бактерій дозволять компенсувати скорочений термін накопичення кислоти в безглютеновому тісті. Правильність обраного способу застосування ферменту ТГ у складі безглютенового хліба підтверджено пробними лабораторними випіканнями.

5.2. Обґрунтування режимів тістоведення

Якість хлібопекарської продукції формується впродовж усього процесу тістоведення. Способи тістоведення, їх класифікація суттєво відрізняються залежно від країни хлібопечення. Наприклад, в Україні та інших пострадянських країнах розрізняють безопарний спосіб та опарні (за вологістю – малагуста або традиційна, велика густа, рідка опара; за температурою – холодна, середня, тепла опара).

У країнах Європи, зокрема у Франції та Італії, розрізняють такі види опар (їх називають також стартерами або ферментованими дріжджовими напівфабрикатами) – polish, biga, patefermentee. Опара polische подібною до рідкої опари, співвідношення «борошно: вода» як 1:1. Опара biga має співвідношення «борошно: вода» як 2:1 або наближається до 1:1; головна її відмінність – відсутність солі. Patefermentee (або Патеферменте) – це стигле тісто із пшеничного борошна, що збереглося від минулого замісу і яке додають у наступний заміс [220].

Слід зазначити, що всі вони призначені для виробництва хліба із пшеничного борошна. Щодо безглютенового хліба, то нами не знайдено у фаховій практичній та науковій літературі даних про застосування опарного способу тістоведення безглютенового хліба. Як правило, рекомендують застосовувати безопарний спосіб. Проте, більшість цих способів не варто розглядати як кла-

сичний безопарний спосіб для пшеничного тіста. Відмінності між регламентами тістоведення для виробництва пшеничного та безглютенового хліба зумовлені наступними аспектами [220]:

- більш висока вологопоглинальна здатність безглютенових видів борошна; це призводить до збільшення вологості тіста та певного розрідження його консистенції, іноді настільки значного збільшення, що тісто називають не «dough», а «sponge» - термін, який частіше застосовують для стартерів тіста («опар» в нашому розумінні);
- відсутність клейковини в борошні та клейковинного каркасу в тісті; це зумовлює необхідність застосування різноманіття додаткових рецептурних компонентів у якості поліпшувачів структури тіста (пекарських розпушувачів, крохмалів, камедей, яйцепродуктів та ін.) з метою підвищення газоутримувальної здатності тіста; тому такий склад тіста суттєво відрізняється від складу опари (вода, борошно, дріжджі, сіль) в загальноприйнятому розумінні;
- наявність інших рецептурних компонентів із своєрідними смаковими та ароматичними характеристиками; це зумовлює непотрібність тривалого бродіння тіста з метою формування притаманного смаку й аромату хліба.

Узагальнюючи отриману нами інформацію щодо способів тістоведення у виробництві безглютенового хліба [69], можна виділити наступні варіанти, які використовуються:

1. *заміс* (3...5 хв.) → *бродіння* (1,5...2 год.) → *формування* → *розстоювання* (20...25 хв.) → *випікання* (195...200 °C протягом 35 хв.);
2. *інтенсивний заміс* (5...7 хв.) → *бродіння* у формі для випікання (1,5 год.) → *випікання* (180...190 °C протягом 40...50 хв.);
3. *заміс* (5...7 хв.) → *розробка* (формування без розстоювання) → *випікання* (180...190 °C протягом 40...50 хв.);

4. *двостадійний заміс* (3 хв. за низьких обертів та 2 хв. в умовах інтенсивного збивання)→*бродиння* у формі для випікання за 37...40 °С до збільшення об'єму тістової заготовки вдвічі→*випікання*(180 °С протягом 40 хв.).

Якщо четвертий варіант розглядати як різновид другого, то схематично всі способи можна представити наступним чином (табл.5.1).

Таблиця 5.1

Характеристика способів тістоуведення безглютенового хліба

Варіант	Спосіб	Режими			
		Заміс, с	Бродіння, с	розстоювання (бродиння у формі), с	Випікання, с
1	3 двоетапним бродінням	3...5х60	1,5...2,0х360	20...25х60	35х60
2	3 одноетапним бродінням	5...7х60	-	1,5х360	40...50х60
3	3 бродінням при випіканні	5...7х60	-	-	40...50х60

Під час аналізу нами встановлено наступні взаємозв'язки між тривалістю і етапністю технологічного процесу та вологістю і особливостями рецептурного складу тіста:

- чим нижча вологість тіста, тим тривалішим є технологічний процес тістоутворення;
- з підвищенням кількості дріжджів (або за додавання додаткових пекарських розпушувачів) тривалість бродіння скорочується або навіть виключається (тістова заготовка розпушується під час вистоювання та випікання).

Крім того, тривалість бродіння (або розстоювання) за часом жорстко не регламентується; її рекомендовано завершувати при збільшенні об'єму тіста (або заготовки) у 1,5...2,0 рази.

Для встановлення ефективності дії ферменту трансглютаміназа разом з колагенвмісних білків в умовах різної вологості тіста та тривалості бродіння

нами було проведено пробні лабораторні випікання безглютенових хлібобулочних виробів вагою 200 г. Умови тістоведення та якісні показники виробів (на прикладі суміші кукурудзяного та рисового борошна у співвідношенні 1:1, із застосуванням у якості рідкої фази тіста 3%-вого розчину желатину та ферменту ТГ (0,075% до маси борошняної сировини) наведено в табл.5.2...5.4. Умови випікання були однаковими для всіх зразків – за температури 190...195°C протягом 40х60с.

Аналіз табл. 5.3...5.4 свідчить, що питомий об'єм та пористість хліба з борошняної суміші без добавок за будь-яким способом тістоприготування мають нижчі значення, ніж з добавками КВБ і ТГ, причому найменші – ті, що виготовлені за третім варіантом (без етапу бродіння чи розстоювання). Найнижчі показники якості структури хліба з тіста найвищої вологості (варіант 3) зумовлені такими обставинами: короткий термін бродіння (на початковому етапі випікання, якого безсумнівно недостатньо для задовільного розпушення тіста); найнижча кислотність тіста (внаслідок скорочення тривалості бродіння), через що відбувається певне погіршення смаку хліба. Хоча добавки поліпшують структуру такого хліба, але цього недостатньо для утворення хліба з доброю пористістю, зовнішнім виглядом, кольором скоринки і смаком.

Таблиця 5.2

Умови тістоведення безглютенових хлібобулочних виробів пробних лабораторних випікань

№	Спосіб	Особливості рецептури	Вологість тіста, %	Режими		
				Заміс	Бродіння, с	Розстоювання (бродіння у формі)
1	З двоетапним бродінням	Бсум	48,0±1	3х60, с	1,0х360	30 х60, с
2		Бсум + Жел +ТГ				
3	З одноетапним бродінням	Бсум	50,0±1	5 х60, с	-	1,3 х360, с
4		Бсум + Жел +ТГ				
5	З бродінням при випіканні	Бсум	55,0±1	5 х60, с	-	-
6		Бсум + Жел +ТГ				

Таблиця 5.3

Показники якості зразків безглютенових виробів (рівень надійності 0,95)

№ зразка	Показники тіста та готових виробів					
	Кислотність тіста, град	Пористість м'якушки, %	Питомий об'єм, $V_{\text{пит}} \times 10^3, \text{ м}^3/\text{кг}$	Стан поверхні хліба	Структура пористості м'якушки	Еластичність м'якушки
1	1,8	61	2,8	нерівна, зі значними тріщинами	нерозвинена, великопориста, товстостінна	м'якушка крихка
2	2,8	70	3,3	гладка, майже без тріщин	середньопориста, рівномірна	м'якушка еластична
3	1,7	62	2,8	нерівна, з великими тріщинами і надривами	нерозвинена, великопориста, товстостінна	м'якушка крихка
4	2,8	74	3,6	гладка, без тріщин	середньопориста, рівномірна, добре розвинена	м'якушка еластична
5	1,6	58	2,5	нерівна, з тріщинами, бліда	нерозвинена, середньо-пориста,	м'якушка гливка, нееластична
6	2,5	65	3,1	більш гладка, з невеликими тріщинами, бліда	середньопориста, рівномірна,	м'якушка низько-еластична

Зниження вологи з одночасним проведенням бродіння на етапі розстоювання (варіант 2) характеризуються добрими показниками якості, поліпшеною структурою, кольором і станом скоринки, що пояснюється тривалістю бродіння тістової заготовки і зберігання всього накопиченого газу в тісті, оскільки стадія формування відбувається до початку бродіння.

Зразок №2 має дещо гірші показники якості порівняно зі зразком №4, що пояснюється зниженою вологістю тіста, яка є недостатньою для формування добре розвинутої структури м'якушки. Більш висока кислотність тіста зразків із добавками (порівняно зі зразками хліба без КВБ та ТГ) зумовлена активацією кислотоутворюючих бактерій за рахунок збільшення температури рідкої фази для забезпечення ефективної дії ферменту.

Таблиця 5.4

**Зовнішній вигляд стану скоринки дослідних зразків безглютенових
хлібобулочних виробів**

№ Зразка	Стан скоринки	№ зразка	Стан скоринки
1		2	
3		4	
5		6	

Отже, за проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що використання безглютенового борошна в комбінації з КВБ і трансглютаміназою є ефективним за будь-якого способу тістоведення, але рекомендувати слід до застосування ті способи, які передбачають стадію бродіння тіста (у діжі або у формі). Вологість тіста та тривалість бродіння при цьому потребують відповідної корекції.

5.3. Вивчення впливу рецептурних компонентів на якість безглютенового тіста та готових виробів

Окрім основної сировини, якою є борошно, дріжджі, вода та сіль, до складу хлібобулочних виробів можуть входити додаткові рецептурні компоненти: цукор, жир-, яйцепродукти та інші. Кількість жиру в рецептурі коливається від 2 до 15% до маси борошна, цукру – від 2 до 25%, яєць – від 0,6 до 18%. Залежно від вмісту здоби і способу формування регулюють також і вологість тіста, знижуючи її на 8...10% порівняно з нездобними виробами.

Метою наступного етапу дослідження було вивчення ефективності використання запропонованих комбінацій КВБ і ТГ разом із безглютеновим борошном у технологіях хлібобулочних виробів із різним вмістом цукру, жиру, яйцепродуктів та води. Тісто готували безопарним способом (варіант 2, табл. 5.1), тривалість замісу 5х60с. Основа рецептури: борошняна суміш (Бкук:Брисак 1:1), 3%-ий розчин желатину, 0,05% ТГ до маси борошна; вологість тіста – 48%.

Аналіз отриманих експериментальних даних (рис.5.2) свідчить про те, що добавки виявляють високу ефективність у присутності досліджуваних рецептурних компонентів – цукру, олії, яєць. Слід зазначити, що збільшення кількості цукру або жиру призводить до зменшення питомого об'єму хліба незалежно від того, присутні добавки чи ні. Пов'язано це з пластифікуючою дією цукру та певним зниженням бродильної активності дріжджів. Олія меншою мірою (порівняно з цукром) призводить до зниження питомого об'єму хліба.

Використання яєць призводить до помітного поліпшення структури хліба та зростання питомого об'єму, виконуючи роль додаткового структуроутворювача. За наявності добавок досліджуваний показники зростає на 15...20% порівняно з контрольним зразком без добавок яєць. Додавання ТГ та желатину посилює позитивний ефект, збільшуючи питомий об'єм на 40...55%.

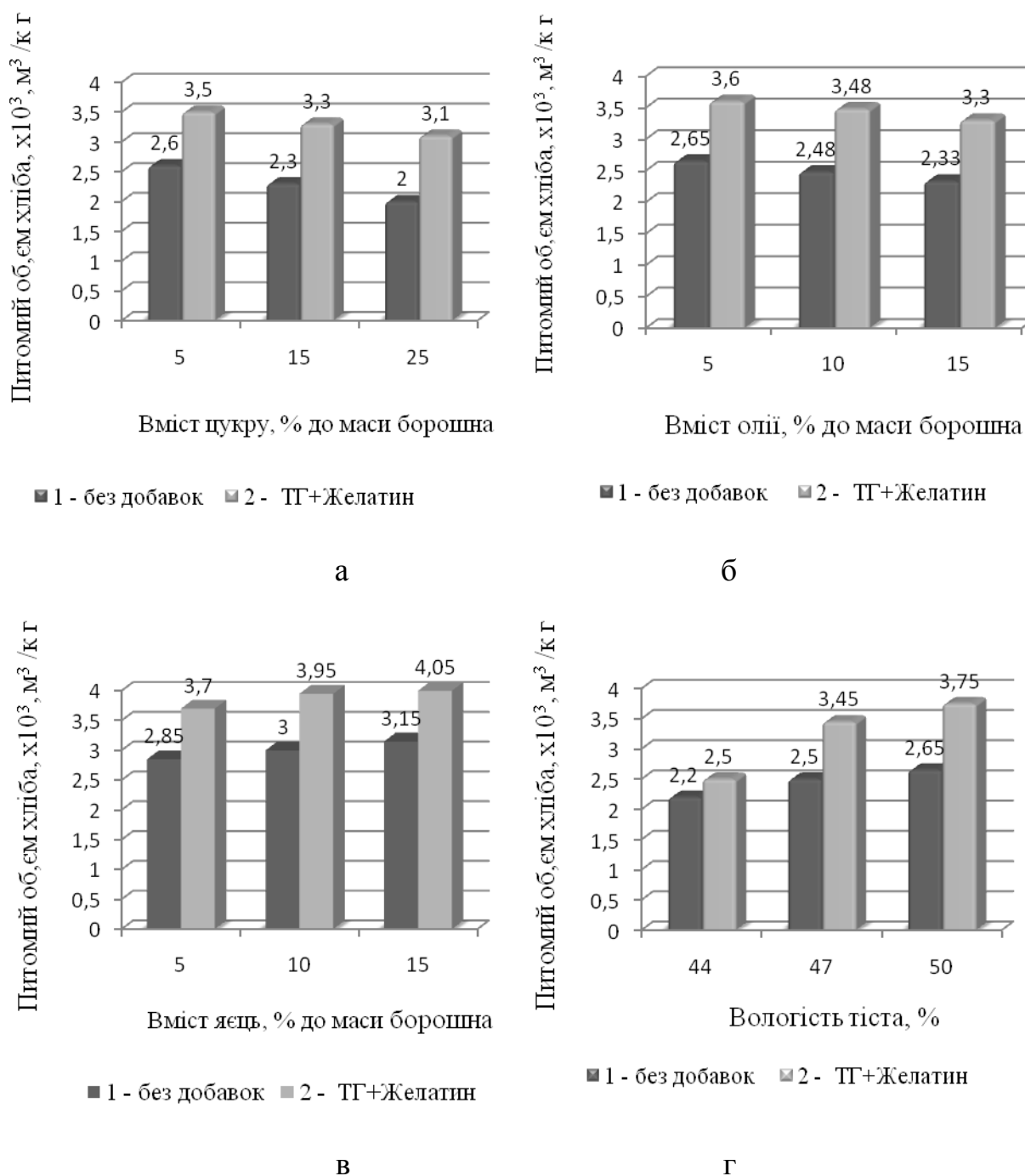


Рис.5.2. Вплив дозування цукру (а), олії (б), яєць (в) та вологості тіста (г) на питомий об'єм хліба: 1 – без добавок (контроль); 2 – з добавками 0,05%ТГ та 3% желатин

Регулювання вмісту води в тісті помітно впливає на досліджуваний показник. Прийнятна вологість для пшеничного тіста (44%) є недостатньою через більш високу водопоглинальну здатність безглютенового борошна. Тому збільшення вологості тіста W_T позитивно впливає на структуру та об'єм хліба – з підвищенням W_T на 7...13 відн.% питомий об'єм збільшується на 13...20% (без добавок) та на 38...50% (з додаванням ТГ і желатину).

5.4. Оптимізація технологічних режимів виробництва безглютенової хлібопекарської продукції

У процесі виробництва хлібобулочних виробів режими тістопедення (вологість тіста, тривалість замішування, тривалість бродіння, кількість та тривалість обминань) значно варіюються залежно від властивостей борошняної сировини.

Для знаходження оптимальних режимів виробництва безглютенових хлібобулочних виробів нами проведено планування повнофакторного експерименту ПФЕ 2^3 та пошук екстремуму за методом Бокса-Уїлсона. Із застосуванням методу апіорного ранжування факторів нами обрано наступні фактори оптимізації: X_1 - температура рідкої фази під час замішування, °C; X_2 – вологість тіста, %; X_3 – тривалість бродіння тіста, с. Критерієм оптимізації обрано питомий об'єм хліба, $m^3/100\text{ г}$ (Y). Щодо раціональних кількостей добавок КВБ і ТГ, ми керувались наступними міркуваннями: за певної кількості та активності ферменту його дієвість визначається тривалістю ферментації (саме тому нами обрано перший і третій фактори варіювання – температура тіста при замісі та тривалість бродіння тіста); КВБ виявили ефективність дії в певному інтервалі (желатин – 2...3%, Сканпро Т95 та Геліос-11 – в межах 1...2%), тому для практичного застосування нами рекомендовано нижню межу концентраційного інтервалу.

Умови проведення експериментів, план повнофакторного експерименту ПФЕ 2^3 та значення вихідного параметру Y тіста для хліба на основі желатину

та ТГ наведено у табл. 5.5. За результатами експериментальних досліджень та регресійного аналізу отримано адекватне рівняння регресії (Додаток В1):

$$Y_1 = 307,56 + 20,52x_1 + 15,60x_2 - 15,69x_3 - 18,69x_1x_2 + 148,40x_1x_2x_3 \quad (5.1)$$

Аналіз рівняння регресії свідчить, що найбільшою мірою на якість виробів впливає температура замісу тіста (фактор x_1). Зростання значення цього показника в обраному факторному просторі водночас зі зростанням вологості тіста (x_2) та зменшенням тривалості бродіння тіста (x_3) має призводити до збільшення питомого об'єму хлібобулочних виробів.

Таблиця 5.5

Умови проведення експериментів, план повнофакторного експерименту

ПФЕ 2^3 та значення вихідного параметру Y

№ п/п	План повнофакторного експерименту			Умови проведення експериментів			Середнє значення функції відгуку $Y_{\text{ср}} \times 10^{-6} \text{ м}^3/100\text{г}$
	x_1	x_2	x_3	температура рідкої фази тіста, °C	вологість тіста, %	тривалість бродіння, τх60, с	
1.	-	-	-	33	46	40	297
2.	+	-	-	43	46	40	312
3.	-	+	-	33	50	40	330
4.	+	+	-	43	50	40	340
5.	-	-	+	33	46	60	309
6.	+	-	+	43	46	60	298
7.	-	+	+	33	50	60	303
8.	+	+	+	43	50	60	310

Отримане рівняння регресії використано для здійснення операції пошуку екстремуму. Розрахунки програми оптимізації здійснювали від нульового рівня. На основі розрахунку плану оптимізації знайдено нові кроки всіх факторів, а саме: S_1 дорівнює «0,33», S_2 – «0,06», S_3 – «-6,0». План оптимізації та результа-

ти проведених експериментів наведено в табл. 5.6. Рекомендованими параметрами приготування тіста з безглютенового борошна (суміш рисового та кукурудзяного борошна у співвідношенні 1:1) з додаванням желатину і транслютамінази є такі: температура під час замісу тіста – 38...42 °С, вологість тіста – 49,5...50,2%, тривалість бродіння тіста – $(35...55) \times 60$ с. Умови проведення, план повнофакторного експерименту ПФЕ 2³ та значення вихідного параметру Y тіста для хліба з додаванням Геліос-11 наведено у Додатку В2. За результатами експериментальних досліджень та регресійного аналізу отримано наступне адекватне рівняння регресії:

$$Y_1 = 321,04 + 6,79x_1 + 2,54x_2 - 5,04x_3 - 7,04x_1x_2 - 1,63x_1x_3 - 9,04x_2x_3 + 160,21x_1x_2x_3 \quad (5.2)$$

Таблиця 5.6

**План і результати оптимізації режимів приготування
безглютенового тіста з додаванням желатину та транслютамінази**

№ з/п	x_1	x_2	x_3	Середнє значення функції відгуку $Y_{\text{сер}}, \text{м}^3/100\text{г}$
1.	40	50	60	310
2.	40,33	50,06	54	345
3.	40,66	50,12	48	350
4.	40,99	50,18	42	350
5.	41,32	50,24	36	320
6.	41,65	50,30	30	300
7.	41,94	50,36	24	280

Знайдено нові кроки всіх факторів, а саме: S_1 дорівнює «0,51», S_2 – «0,03», S_3 – «-6,0». План оптимізації та результати проведених експериментів наведено в табл. 5.7.

Рекомендованими параметрами приготування тіста з додаванням Геліос-11 та ТГ за результатами оптимізації є такі: температура рідкої фази тіста – 40...41,5 °С, вологість тіста – 48...49%, тривалість бродіння – $(40...60) \times 60$ с.

Таблиця 5.7

**План і результати оптимізації режимів приготування
безглютенового тіста з додаванням Геліос 11 та трансглютамінази**

№ з/п	x_1	x_2	x_3	Середнє значення функції відгуку $U_{\text{сер}}, \text{м}^3/100\text{г}$
1.	40	48	60	338
2.	40,51	48,03	54	340
3.	41,02	48,06	48	348
4.	41,53	48,09	42	345
5.	42,04	48,12	36	325
6.	42,55	48,18	30	310
7.	43,06	48,24	24	290

**5.5. Технологічна схема та апаратурне оформлення технології
безглютенового хліба**

За результатами експериментальних досліджень нами встановлено раціональні технологічні режими виробництва безглютенового хліба. Технологічні схеми виробництва безглютенової хлібопекарської продукції наведені на рис.5.3...5.4.

На відміну від традиційного безопарного способу виробництва хліба, в даній схемі передбачено: приготування водних розчинів желатину, ферменту ТГ; підвищення температури замісу (38...42 °С); поєднання операцій бродіння тіста і розстоювання заготовок (рекомендовано розстоювання тіста у формах для випікання хліба). Якщо застосовують КВБ Геліос-11 (або Сканпро Т95), то його звільняють від упаковки та з'єднують із борошном у співвідношенні 1:5 та ретельно перемішують. Отриману суміш знову додають до борошна у співвідношенні приблизно 1:10 і також перемішують. Для виробництва хліба з борошна безглютенового може бути використане традиційне обладнання. Удосконалену

апаратурно-технологічну схему виробництва безглютенових хлібобулочних виробів наведено на рис. 5.5.

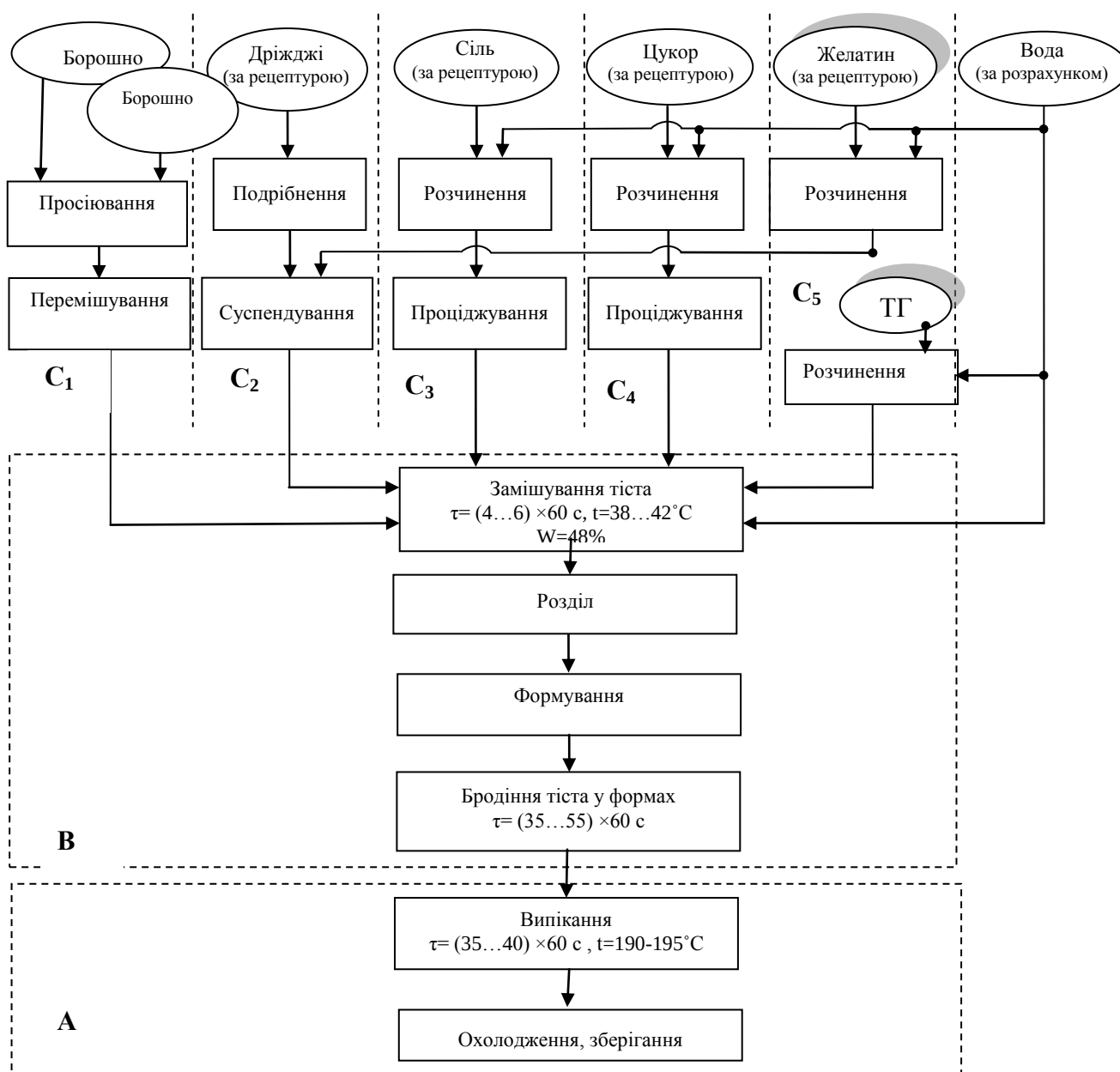


Рис.5.3. Технологічна схема виробництва безглютенового хліба з використанням желатину та ТГ: А – підсистема утворення хлібобулочних виробів; В – підсистема утворення тістових заготовок заданої якості; С₁ – підсистема підготовки борошняної сировини; С₂ - підсистема підготовки дріжджів; С₃, С₄ – підсистема приготування сольового та цукрового розчинів відповідно; С₅ – підсистема підготовки поліпшувачів структури хліба

Підготовка сировини, яка використовується при виробництві батонів, здійснюється згідно зі збірником “Технологически инструкции по выработкех-

лебобулочнихизделий».Борошно доставляється на хлібозавод в автоборошно-возах. Для пневматичного розвантаження борошна автоборошновоз має повітряний компресор та шланг для з'єднання з приймальним щитком 2. Борошно із ємності автоборошновоза під тиском по трубах через фільтр (ХЄ-163) 24 завантажують у силоси (ХЄ-160А) 3 для зберігання.

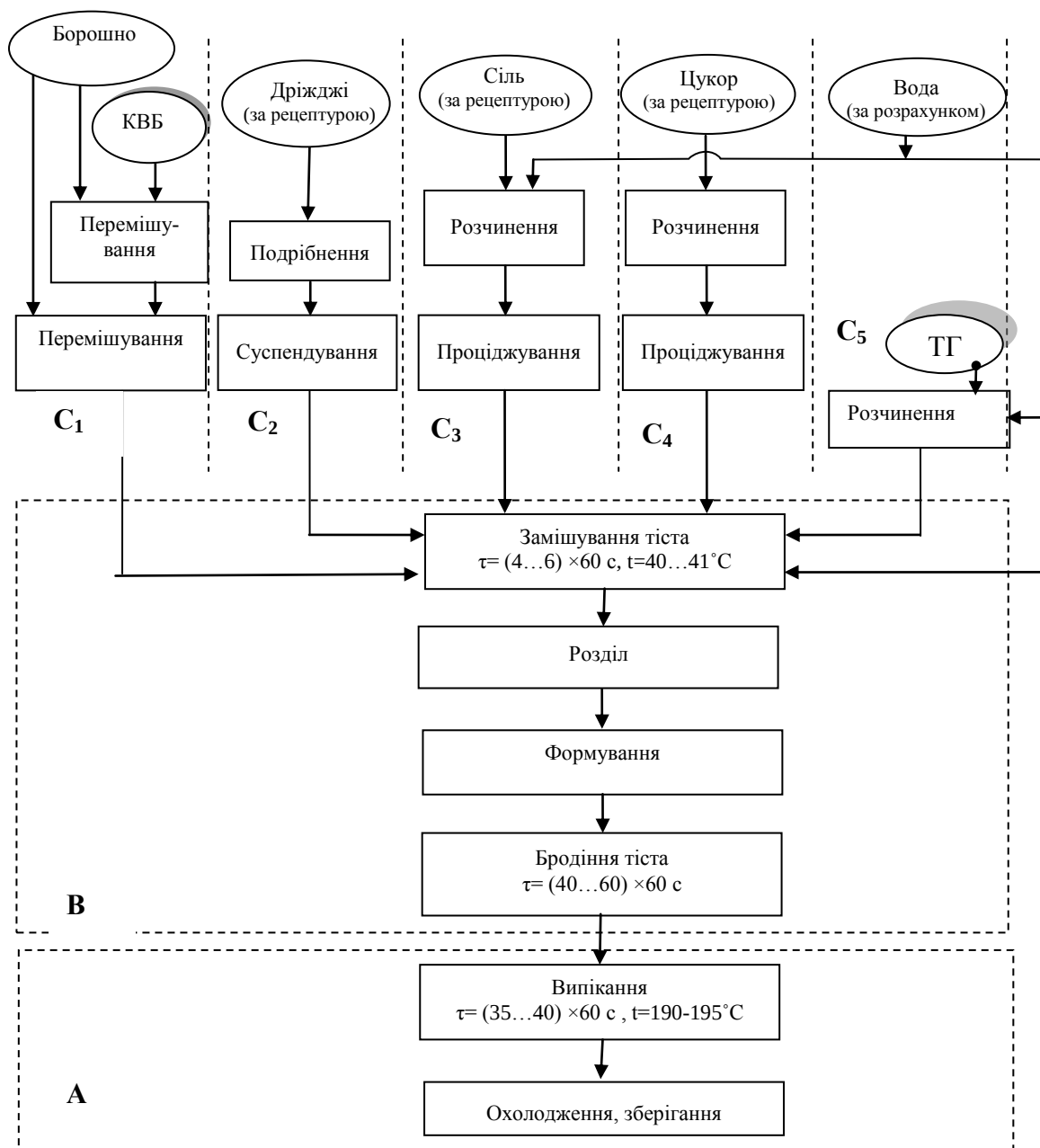


Рис.5.4. Технологічна схема виробництва безглютенового хліба з використанням Геліос-11 або Сканпро Т95: А – підсистема утворення хлібобулочних виробів; В – підсистема утворення тістових заготовок заданої якості; С₁ – підсистема підготовки борошняної сировини; С₂ - підсистема підготовки дріжджів; С₃, С₄ – підсистема приготування сольового та цукрового розчинів відповідно; С₅ – підсистема підготовки ферменту ТГ

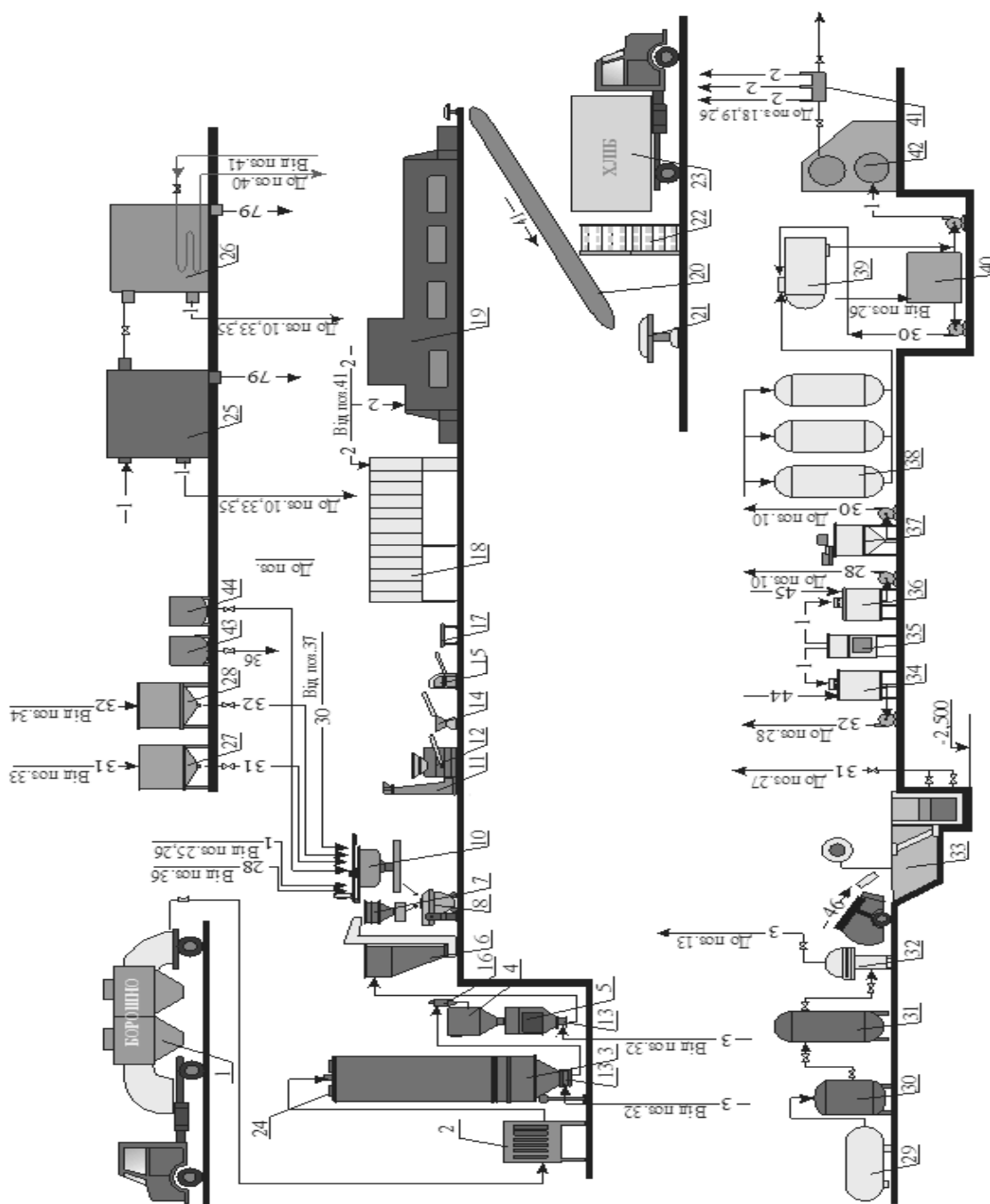


Рис.5.5. Апаратурно-технологічна схема виробництва безглютенового хліба

При роботі лінії борошно із силоса 3 надходить до приймального фільтру 16. Витрати борошна регулюють за допомогою роторного живильника 13. Потім борошно очищують від сторонніх домішок на просіювачі (РЗХМП) 4 з магнітним уловлювачем та через автоматичні ваги (ДМП-100) 5 завантажують у силоси 6. Сіль, цукор розчиняють у ємностях 33, 34, направляють для зберігання в ємності 27, 28. Желатин, що поліпшує структурно-механічні властивості тіста,

розводять гарячою водою в ємності 43 та подають до дріжджів у ємність 36. Дріжджі розводять желатиновим розчином у ємності 36 та подають на дозувальну станцію для рідких компонентів 10 з подальшим приготуванням тіста. Фермент ТГ розводять теплою водою у ємності 44 та подають до тістомісильної машини 8. Для замісу тіста борошно, яке потрапляє до тістомісильної машини 8, зважують на автовагах (МД-100) 7. Додаткова сировина (розчини солі, цукру, суспензія дріжджів, розчин) з ємностей 27, 28, 36, 43, 44 та маргарині з жиротопки 37 через станцію для дозування рідких компонентів 10 подається до тістомісильної машини.

З тістомісильної машини 8 тісто направляється в тістоподільник (А2-ХТН) 12, за допомогою якого отримуються порції тіста однакової маси. Після обробки порцій тіста в машині для округлення 14 заготовки набувають кулястої форми, які спрямовують транспортерами на стіл для розробки 17, де маніпулятор укладає тістові заготовки певної маси у формах до вистоювальної шафи (А2-ХРВ) 18. Бродіння тістових заготовок проводиться протягом $(35...55) \times 60$ с за температури $35...37^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості повітря $75...80\%$. Заготовки після бродіння направляються до печі (ППЦ-1250) 19 для випікання. Випікають вироби протягом $(35...40) \times 60$ с за температури $190...195^{\circ}\text{C}$. Випечені вироби по жолобу спускного пристрою готової продукції 20 потрапляють на циркуляційний стіл 21, укладальник завантажує їх до контейнера 22, а потім до автохлібовоза 23.

5.6. Кваліметрична оцінка якості безглютенових виробів

На підставі проведених експериментальних наукових досліджень і пробних лабораторних випікань нами розроблено рецептури і визначені технологічні режими приготування наступних безглютенових хлібобулочних виробів (табл. 5.7, 5.8). Для урізноманітнення смаку виробів та їх додаткового збагачення в двох рецептурах запропоновано застосовувати сироватку на заміну води та в якості джерела тваринного білка.

Таблиця 5.7

Рецептури нових безглютенових хлібобулочних виробів

Найменування сировини	Витрати сировини на 100 кг борошна, кг			
	Хліб «Гурман»	Хлібець «Расти большой»	Булочка «Псельська»	Булочка «Тополя»
Борошно кукурудзяне	70,0	50,0	30,0	50,0
Борошно рисове	30,0	50,0	70,0	50,0
Дріжджі хлібопек.прес.	1,5	2,5	1,5	2,5
Сіль поварена харчова	1,5	1,5	1,0	1,0
Цукор білий кристалічний	5,0	6,0	15,0	15,0
Желатин	2,0	-	-	2,0
або «Геліос-11» ***	1,0	-	-	1,0
Фермент «REVADA TG»	0,07	0,06	0,06	0,06
Меланж	4,0	4,0	8,0	-
Маргарин	3,0	3,0	-	-
Олія соняшникова	3,0	0,1	3,0	3,0
Кмин	1,0	-		
Часник		1,0	-	-
Сироватка молочна	-	15,0	15,0	-
Молоко сухе			-	20,0
Цукрова пудра	-	-	2,0	-
Ваніль			3,0	-

Тут: *** - Геліос-11 або Сканпро Т95

За органолептичними показниками безглютенові хлібобулочні роби відповідають вимогам, зазначеним у табл.5.9.

За фізико-хімічними показниками безглютенові хлібобулочні вироби відповідають вимогам, зазначеним у табл.5.10.

Таблиця 5.8

Режими приготування тіста для безглютенових виробів

Режими приготування тіста	Найменування виробу			
	Хліб «Гурман»	Хлібець «Расти большой»	Булочка «Псельська»	Булочка «Тополя»
Вологість, %	51,0	51,0	44,0	43,0
Початкова температура, °C	35-40	35-40	35-40	35-40
Тривалість бродіння, х60, с	30-40	35-45	40-50	45-60
Кислотність кінцева тіста, град, не більше	2,5	3,0	4,0	3,0

Таблиця 5.9

Органолептичні показники безглютенових хлібобулочних виробів

Найменування Показника	Характеристика хлібобулочних виробів			
	Хліб «Гурман»	Хлібець «Расти большой»	Булочка «Псельська»	Булочка «Тополя»
	Формові вироби		Подові вироби	
Форма	Відповідає хлібній формі, в якій проводилося випікання без бокових впливів		Форма косички, не розпливчата	Форма округла, овальна, або довгасто-овальна
Поверхня	Гладка, без великих підривів та тріщин, посипана кунжутом	Гладка, без підривів та тріщин	Гладенька, без підривів та тріщин, посипана цукровою пудрою. Допускаються надколи, надрізи, борошністість нижньої скоринки	
Колір скоринки	Від світло-коричневого до темно-коричневого			
Колір м'якушки	Яскраво жовтий	Світло - жовтий	Від білого до кремового	Світло-жовтий
Стан м'якушки	Пропечена, еластична, без слідів непромісу			
Смак та запах	Властивий даному виробу, без сторонніх присмаку і запаху			

Таблиця 5.10

Фізико-хімічні показники безглютенових хлібобулочних виробів

Найменування показника	Характеристика показників хлібобулочних виробів			
	Хліб «Гурман»	Хлібець «Расти большой»	Булочка «Псельська»	Булочка «Тополя»
Вологість м'якушки, % не більше	48,0	48,0	42,0	41,0
Кислотність м'якушки, град, не більше	2,5	3,0	4,0	3,0
Пористість м'якушки, % не менше	69,0	73,0	68,0	-
Масова частка цукру в перерахунку на сухі речовини, % не менше	4,5	4,5	12,0	13,0
Масова частка жиру в перерахунку на сухі речовини, % не менше	5,5	4,0	4,5	2,5

Інформаційні дані про харчову та енергетичну цінність 100 г безглютенових хлібобулочних виробів наведені в табл.5.11.

Таблиця 5.11

Харчова та енергетична цінність 100г безглютенових хлібобулочних виробів

Найменування виробів	Харчова цінність			Енергетична цінність	
	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Ккал	кДж
Хліб «Гурман»	6,9	3,0	45,5	236,6	989,0
Хлібець «Растибольшой»	7,0	2,0	47,1	234,4	979,8
Булочка «Псельська»	6,0	1,9	45,2	221,9	927,5
Булочка «Тополя»	12,1	2,9	50,4	276,1	1154,0

Значення виходу, упіку, усихання та припіку для безглютенових хлібобулочних виробів наведено в табл.5.12. Порівнювальний аналіз рівня якості продукції проводили за допомогою інструментів теоретичної кваліметрії з визначенням комплексного показника якості [221, 222].

Таблица 5.12.

Вихід, упік, усихання та припік безглютенових хлібобулочних виробів

Показник	«Гурман»	«Расти большой»	«Псельська»	«Тополя»
Упік %	5,6	6,8	8,2	8,4
Усихання%	3,4	3,6	3,5	3,4
Вихід продукту%	188,9	182,6	195,4	190,3

На першому етапі досліджень обрано основні групи показників для оцінки якості хлібобулочних виробів: група a_1 – органолептичні властивості (колір скоринки (P_{a1}^1), еластичність м'якушки (P_{a1}^2), запах (P_{a1}^3), характер пористості (P_{a1}^4), смак (P_{a1}^5); група a_2 – структурно-механічні властивості (питомий об'єм хліба (P_{a2}^1), пористість (P_{a2}^2)). Усічене “Дерево властивостей” для оцінки якості виробів наведено в табл. 5.13.

Для знаходження міжгрупових та внутрішньо - групових коефіцієнтів вагомості використано експертний метод. Оцінку здійснено за п'ятдесятибальною шкалою. Тобто, для оцінки якості безглютенового хліба з поліпшувачами та без них обрано такі основні групи показників: група A_1 (показники органолептичних властивостей) – колір скоринки (P_{a1}^1), еластичність м'якушки (P_{a1}^2), запах (P_{a1}^3), характер пористості (P_{a1}^4), смак (P_{a1}^5); група A_2 (показники структурно-механічних властивостей) – питомий об'єм (P_{a2}^1), пористість (P_{a2}^2); міжгруповий показник, що характеризує збереженість м'якушки – стискаємість P_v .

Таблиця 5.13

Усічене “Дерево властивостей” для оцінки якості хлібобулочних виробів

Рівні дерева властивостей				
0-й	1-й	2-й	3-й	4-й
Інтегральна якість (K _i)	Комплекс- ний показ- ник якості (K _o)	харчові достойнс- тва Q _a	органолеп- тичні властивості Q _{a1}	колір скоринки, бал, Q _{a1} ¹
				еластичність м'якушки, бал, Q _{a1} ²
				запах, бал, Q _{a1} ³
				характер пористості, бал, Q _{a1} ⁴
				смак, бал, Q _{a1} ⁵
			структурно- механічні властивості Q _{a2}	питомий об'єм виро- бу (см ³ /г), Q _{a2} ¹
				розпушеність (порис- тість, %), Q _{a2} ²
		стійкість до деформації м'якушки у зберіганні (стискаємість, од.п.) Q _b		
Економічність (K _e)				

Переведення абсолютних показників якості у відносні здійснювали за формулами:

$$q_i = P_i / P_{i \text{ баз}} \quad (5.3)$$

де P_i – значення i -го показника ($i=1,2,3\dots n$) якості продукції, що оцінюється;

q_i – відносне значення показника якості;

$P_{i \text{ баз}}$ – базове значення i -го показника.

Для знаходження коефіцієнтів вагомості використано експертний метод. Оцінку здійснено за п'ятдесятибальною шкалою. Коефіцієнти вагомості дорівнюють: міжгрупові: $M_a = 0,7$; $M_b = 0,3$; $M_{a1} = 0,5$; $M_{a2} = 0,5$; внутрішньо групові $m_{a1}^1 = 0,15$; $m_{a1}^2 = 0,25$; $m_{a1}^3 = 0,13$; $m_{a1}^4 = 0,30$; $m_{a1}^5 = 0,17$; $m_{a2}^1 = 0,50$; $m_{a2}^2 = 0,50$. Комплексну оцінку якості проведено через визначення середньозваженого арифметичного показника

$$K_0 = \sum M_i(m_i k_i), \quad (5.4)$$

де K_0 – комплексний показник якості.

Значення основних якісних показників для хліба збезглютенової борошняної суміші без добавок (Бсум), з добавкою Геліос-11 (Бсум+Гел) та Геліос-11 сумісно з ТГ («Гурман») наведено в табл.5.14. Комплексний показник якості складає: для хліба з безглютенової борошняної суміші без добавок 0,86, з добавкою КВБ Геліос-11 – 1,06, для хліба «Гурман» (з Геліос-11 та ферментом ТГ) – 1,15. Показник інтегральної якості хлібобулочних виробів визначено та наведено в розд.6.

Таблиця 5.14

Значення базових, абсолютних, відносних і комплексних показників якості хлібобулочних виробів

Найменування показника якості	Значення показників						
	базовий	абсолютних			відносних		
		Бсум	Бсум + Гел	«Гурман»	Бсум	Бсум + Гел	«Гурман»
Колір скоринки	45	42	45	45	0,93	1,00	1,00
Еластичність м'якушки	45	35	48	49	0,78	1,07	1,09
Запах	45	45	46	46	1,00	1,02	1,02
Характер пористості	42	35	40	48	0,83	0,95	1,14
Смак	45	43	46	47	0,96	1,02	1,04
Питомий об'єм	3,0	2,6	3,1	3,6	0,87	1,03	1,20
Пористість	70	66	70	76	0,94	1,00	1,09
Стискаємість	30	24	35	37	0,80	1,17	1,23
Комплексний показник якості K_0					0,86	1,06	1,15

Таким чином, комплексна оцінка якості свідчить, що якість зразка хліба з безглютенової суміші без добавок є нижчою якості базового зразка (для базового вона дорівнює 1,0). Тобто така продукція не відповідає вимогам нормативної документації. Якість зразка з добавкою Геліос-11, а також хліба «Гурман» перебільшує якість базового і дослідного (Бсум) зразків за рахунок поліпшення кольору скоринки (стає більш яскравим), пористості, питомого об'єму, стискаємості (оскільки добавки рекомендовані як структуроутворювачі) і навіть за смаком (добре розпушена м'якушка смакує краще).

Аналогічні розрахунки проведено для хліба «Растибольшой» та булочок «Тополя» і «Псельська» (дані наведені в табл.5.15). Замість питомого об'єму для булочних виробів визначали формостійкість. Комплексна оцінка якості дорівнює: булочка Псельська – 1,02, булочка Тополя – 1,05, хліб «Растибольшой» – 1,17.

Таблиця 5.15

Значення базових, абсолютних, відносних і комплексних показників якості хлібобулочних виробів

Найменування показника якості	Значення показників						
	Базовий	абсолютних			відносних		
		Псельська	Тополя	Растибольшой	Псельська	Тополя	«Растибольшой»
Колір скоринки	45	47	46	46	0,98	0,98	0,96
Еластичність м'якушки	45	47	47	49	1,00	1,04	1,04
Запах	45	46	46	45	1,00	0,98	1,00
Характер пористості	42	44	43	48	0,98	1,09	1,09
Смак	45	47	47	47	1,00	1,00	1,00
Питомий об'єм	3,0			3,75			1,25
Формостійкість	0,35	0,35	0,36		1,00	1,03	
Пористість	70	70	70	77	1,00	1,00	1,10
Стискаємість	30	32	33	40	1,07	1,10	1,33
Комплексний показник якості K_0					1,02	1,05	1,17

Проведена комплексна оцінка якості хлібобулочної продукції свідчить, що поставлене технологічне завдання поліпшити якість хлібобулочних виробів з безглютенового борошна шляхом застосування КВБ і ферменту ТГ в якості регуляторів структури виробів успішно вирішено.

5.7. Застосування елементів системи НАССР при розробці технологій безглютенових хлібобулочних виробів

На етапі розробки технології безглютенових хлібобулочних виробів враховували доброякісність та безпечність вхідної сировини, високі експлуатаційні характеристики обладнання, санітарно-гігієнічні норми та правила, високий професіоналізм персоналу, базуючись на мінімізації ризиків виникнення нестандартних ситуацій шляхом ідентифікації критичних точок контролю (КТК) (табл. 5.16, 5.17).

Таблиця 5.16

Ідентифікація небезпечних чинників в сировині та матеріалах, що використовуються при виробництві безглютенових хлібобулочних виробів

Найменування сировини чи матеріалу	Нормативний документ	Небезпечні чинники		
		Біологічні (Б)	Хімічні (Х)	Фізичні (Ф)
1	2	3	4	5
Сухі компоненти	ДСТУ 3583-97 ДСТУ 4623:2006 ГОСТ Р 53495-2009 ГОСТ Р 53495-2009 ДСТУ 4565 сертифікати фірм виробників, дозвіл на використання МОЗ України	БГКП; МАФАМ; КОЕ; Дріжджі, плісні; спори бактерій та грибів; екскременти гризунів	Солі важких металів	Шкідливі домішки
Дріжджі	ДСТУ 4812:2007	плісні; спори бактерій та грибів	-	шкідливі домішки
Желатин	ГОСТ 11293-89	-	-	шкідливі домішки
Геліос 11	ТУ У 15.8 – 13848909-001-2008	-	-	-
Ферментний препарат трансглютаміназа	за висновком гігієнічної експертизи №05.03.02-03/32027	-	-	-

Продовження табл. 5.16

1	2	3	4	5
Яйцепродукти	ТУ У 15.8-32086437-002:2007/ГОСТ 30363-96	плісні;спори бактерій та грибів, екскременти	окислені ліпіди	шкідливі домішки
Жирові компоненти	ДСТУ 4465:2005 ДСТУ 4492:2005	-	окислені ліпіди; вільні радикали	шкідливі домішки
Вода питна, сироватка молочна	ГОСТ 2874-82 Згідно з чинною нормативною документацією	Колі - форми	солі важких металів	шкідливі домішки
Смако-ароматичні добавки	ГОСТ 29056-91 ДСТУ 3233-95 сертифікати фірм виробників, дозвіл на використання МОЗ України	-	-	шкідливі домішки

Таблиця 5.17

Ідентифікація граничних значень КТК

Номер КТК	Технологічна операція	Небезпечні чинники			Технологічні Параметри	Граничне значення КТК
		Б	Х	Ф		
КТК -1	Просіювання сипких компонентів	—	—	√	Розмірні характеристики сита (d), мм	d≤2
КТК - 2	Підготовка яйцепродуктів	√	-	-	Температура води, °С	25-35
КТК - 3	Заміс тіста	√	-	√	Температура суміші, °С Тривалість замішування, хв	37-42 5-7
КТК - 4	Охолодження виробів	√	-	√	Температура повітря, °С Тривалість, хв. Температура виробу, °С	18-20 20-30 20-22
КТК - 5	Упакування виробів	√	-	√	-	-
КТК - 6	Зберігання виробів	√	-	√	Температура повітря, °С Вологість повітря, відн.%	15-18 75-85

Фізичне забруднення є потенційно можливим за рахунок попадання до продукту шкідливих сторонніх предметів. Тому на всіх стадіях технологічного

процесу рекомендовано здійснювати безперервний візуальний контроль і застосування спеціального обладнання.

Хімічне забруднення виникає при застосуванні нерегламентованого матеріалу обладнання, який взаємодіє з продуктами під час їх переробки. Причиною біологічного забруднення (зростання патогенних мікроорганізмів та грибів) є порушення температурного режиму та вологості продуктів і повітря.

Щоб звести ці ризики до мінімуму, необхідно запроваджувати регламентування швидкості охолодження, проведення процесів при безперервному вимірі температури, чітко дотримуватись санітарних правил для персоналу та обладнання, періодично проводити інструктажі з санітарного мінімуму та здійснювати санітарну обробку обладнання.

5.8.Визначення стійкості нової безглютенової хлібопекарської продукції під час зберігання

Черствіння хліба супроводжується втратами вологи, які пов'язані більшою мірою зі змінами властивостей м'якушки і меншою - зі змінами властивостей скоринки. Такі тенденції зумовлюються комплексом процесів, що протікають у хлібі при зберіганні та призводять до зміни його гідрофільних властивостей. У першу чергу це зумовлюється міграцією вологи від центральних ділянок м'якушки до периферійних ділянок у скоринці. Тому вона стає більш крихкою, менш стискуваною, а скоринка з крихкої та гладенької перетворюється на м'яку, еластичну, зі зморшками. У частково оклейстеризованому крохмалі відбувається процес агрегації його структурних елементів із переходом від легкорозчинної та структурно слабкої форми до менш розчинної та більш міцної. Деякі автори пов'язують черствіння хліба з процесом синерезису крохмалю, який також включає агрегацію елементів дисперсної фази, що супроводжується виділенням вільного рідкого дисперсійного середовища [205]. Припускають також, що білкові речовини м'якушки (а саме денатурована клей-

ковина) при старінні знижують гідратаційну здатність. Однак, єдиної думки про ступінь міграції води між крохмалем і білками на сьогодні нема.

Процес черствіння хліба з добавками-поліпшувачами досліджували за змінами якісних показників (погіршення органолептичних показників, твердості м'якушки), а також кількісних показників (втрати води). Дані представлені на рис.5.6...5.7. Отримані результати свідчать, що безглютеновий хліб з поліпшувачами структури («Гурман», «Расти большой») виявляє значно менші втрати води порівняно з хлібом на основі борошняної суміші різного складу під час зберігання. Також слід зазначити, що максимальні втрати води відбуваються в перші 24 год зберігання (73...74% для контрольних зразків з борошняних сумішей та 63...65% для зразків хліба з поліпшувачами). Встановлені дані корегують із результатами досліджень щодо втрат води зразками тіста під час сушіння (розд.4.3).

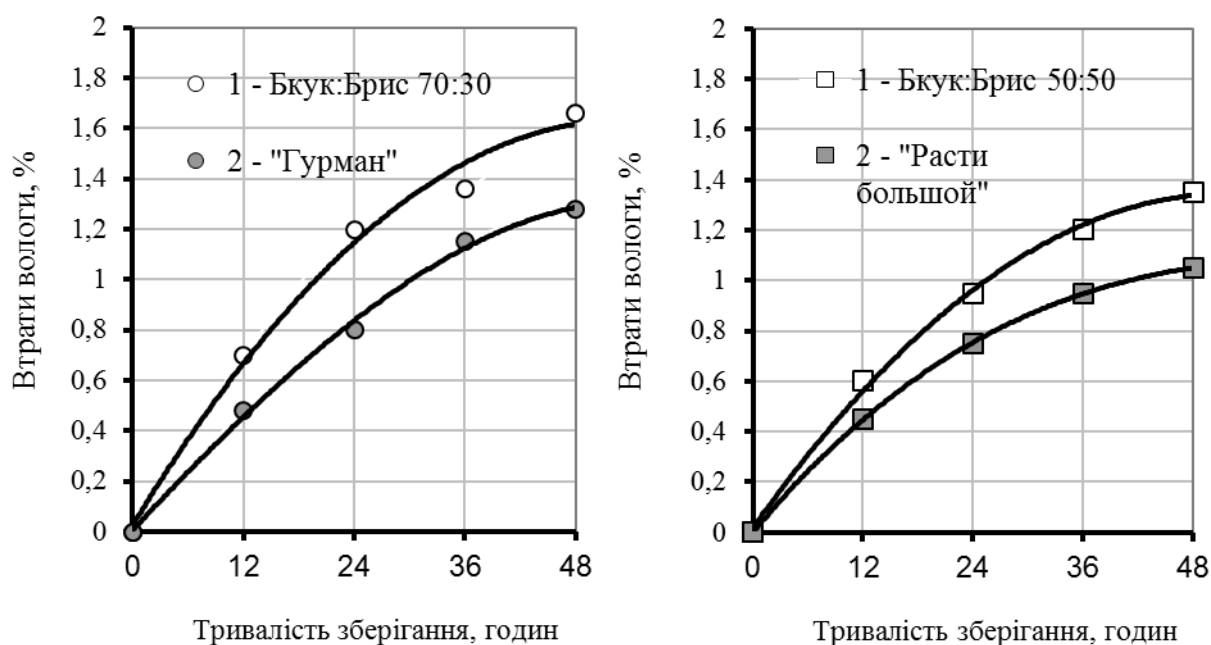


Рис.5.6. Втрати води хліба безглютенового без добавок та хліба «Гурман» і «Расти большой» під час зберігання

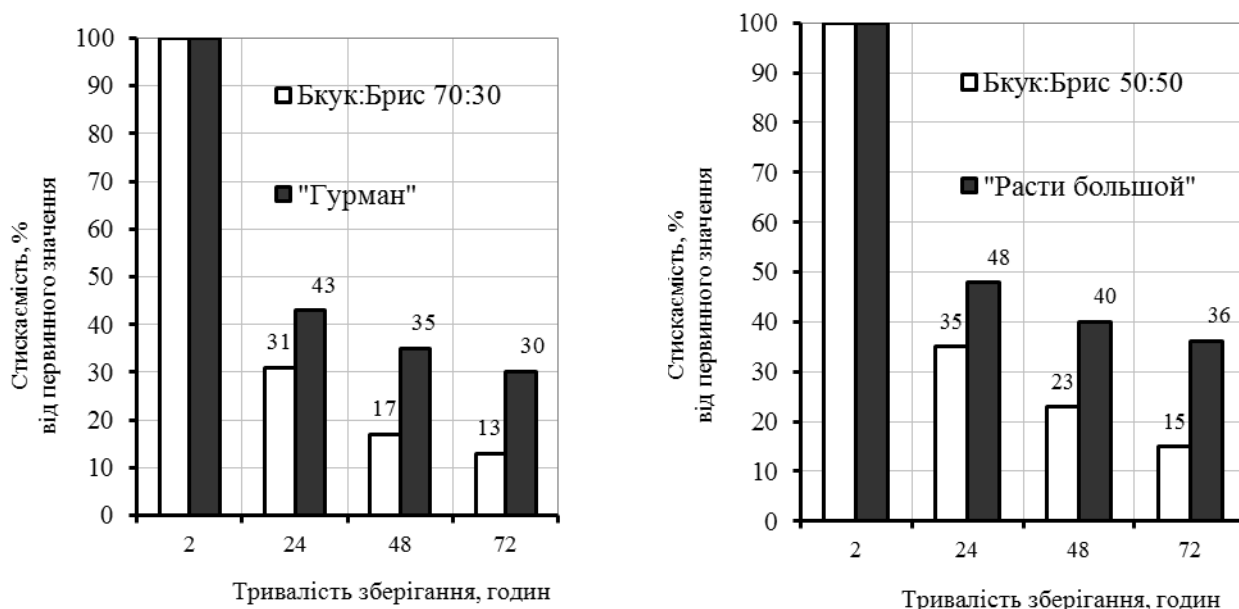


Рис.5.7. Стискаємість м'якушки хліба безглютенового без добавок та хліба «Гурман» і «Расти большой» з добавками під час зберігання

Залежності зміни стискуваності м'якушки хліба без добавок та з поліпшувачами виявляють подібні тенденції (рис.5.7). Через 24 год. зберігання стискуваність контрольних зразків знижується на 65...69% , а дослідних зразків – лише на 52...57%. Можна пояснити більш високі показники стискуваності хліба «Расти большой» наявністю в рецептурі молочної сироватки, яка здатна загальмувати процес черствіння. Ступінь черствіння також незначно знижується, якщо у складі борошняної суміші зростає частка рисового борошна, а кукурудзяного – знижується. Можна зазначити, що свіжість розроблених видів аглютенового хліба через 72 год. зберігання дорівнює хлібу без добавок через 24 год. зберігання. Проте, рекомендувати подовжувати терміни зберігання нової продукції не вважаємо доцільним через більш високу вологість виробів.

Отже, обґрунтовано спосіб введення добавок. Білкові добавки Геліос-11 та Сканпро Т95 слід застосовувати у вигляді сухих порошків шляхом дво- або трикратного попереднього змішування з борошняною сировиною на етапі підготовки сировини з метою їх рівномірного розподілу. Желатин слід застосовувати у вигляді водного розчину заданої концентрації на стадії суспендування дріжджів або замісу тіста (опари).

Рекомендовано запровадити стадію розчинення ферменту ТГ у воді за температури 40...45 °С (для його активації) з подальшим використанням для замісу тіста або суспендування дріжджів. Підвищення температури і активний розвиток кислотоутворювальних бактерій дозволяє компенсувати скорочений термін накопичення кислоти в безглютеновому тісті.

Обґрунтування режимів тістovedення передбачає, що використання безглютенового борошна в комбінації з КВБ і ферментом транsgлутаміназою є ефективним за будь-якого способу тістovedення. Рекомендовано способи, які передбачають стадію бродіння тіста (у діжі або у формі).

Встановлено, що добавки виявляють високу ефективність у присутності цукру, олії, яєць. Збільшення кількості цукру та жиру (останнього – меншою мірою) призводить до зменшення питомого об'єму хліба незалежно від наявності добавки. Пов'язано це з пластифікуючою дією цукру та зниженням бродильної активності дріжджів. Використання яєць, що виконують роль структуроутворювача в безглютеновому тісті, помітно поліпшує структуру хліба та забезпечує зростання питомого об'єму. Додавання ТГ та білкових добавок посилює позитивний ефект, збільшуючи питомий об'єм на 40...55%.

Оптимальними параметрами приготування тіста з безглютенового борошна (суміш рисового та кукурудзяного борошна у співвідношенні 1:1) з додаванням желатину і транsgлутамінази є такі: температура рідкої фази тіста – 38...42 °С, вологість тіста – 49,5...50,2%, тривалість бродіння тіста – $(35...55) \times 60$ с. Рекомендованими параметрами приготування тіста з додаванням Геліос-11 та ТГ за результатами оптимізації є такі: температура рідкої фази тіста – 40...41,5 °С, вологість тіста – 48...49%, тривалість бродіння – $(40...60) \times 60$ с.

Розроблено схему однофазного способу виробництва безглютенового хліба, в якій на відміну від загальноприйнятої передбачено: розчинення у воді желатину, ферменту ТГ; підвищення температури замісу (38...42 °С); поєднання операцій бродіння тіста і розстоювання заготовок. Застосування Геліос-11 або Сканпро Т95 передбачає з'єднання їх з борошном у співвідношенні 1:5 та

ретельного перемішування, повторного перемішування отриманої суміші з борошняною сировиною у співвідношенні 1:10.

Комплексна оцінка якості дорівнює: булочка Псельська – 1,02, булочка Тополя – 1,05, хліб Расти большой – 1,17.

Свіжість розроблених видів аглютенового хліба через 72 год. зберігання дорівнює хлібу без добавок через 24 год. зберігання. Проте рекомендувати продовжувати терміни зберігання нової продукції не вважаємо доцільним через більш високу вологість виробів.

Результати власних досліджень, наведених в розділі 5, опубліковані в роботах [201, 223, 224].

РОЗДІЛ 6

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ, ПРАКТИЧНЕ ТА СОЦІАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ НАУКОВОЇ РОЗРОБКИ

6.1. Економічна ефективність наукової розробки

Проведеними лабораторними та виробничими випробуваннями хлібобулочних виробів із безглютенового борошна встановлено поліпшення їх якості шляхом застосування ферменту трансглютаміназа сумісно з білковими добавками тваринного походження – желатином, Сканпро Т95, Геліос-11. Технологія безглютенових виробів може бути використана в умовах хлібопекарських підприємств або в умовах підприємств харчування.

Застосування ферменту трансглютаміназа разом із білковими добавками тваринного походження дозволяє: суттєво поліпшити структурно-механічні властивості тіста та готової продукції – пористість м'якушки, колір скоринки та зовнішній вигляд хліба в цілому. Ці показники є вирішальними при формуванні оптової ціни. Доведення показників якості борошна зі слабкою клейковиною до базисних дозволить реалізувати таке борошно за ринковими цінами без їх зниження.

Розрахунок показників економічної ефективності проведено з урахуванням норм виходу продукції та діючих методик у галузі розрахунків.

Економічний ефект від упровадження інноваційної технології безглютенового хліба на хлібопекарських підприємствах дорівнює 2500 грн. на 1 т готових виробів.

6.2. Практичне значення результатів роботи

З метою підтвердження наукової новизни та практичної значимості роботи проведено комплекс заходів щодо впровадження нових технологій у виробництво та навчальний процес.

Наукову новизну одержаних результатів підтверджено патентом на корисну модель України: № 86050 «Спосіб виробництва безглютенового хліба».

Роботи щодо впровадження результатів наукових досліджень проводилися в таких напрямках:

- розроблення та затвердження нормативної документації на нову продукцію;
- виробництво нових видів безглютенових хлібопекарських продуктів у вигляді дослідно-промислових партій;
- представлення нових виробів на виставках і дегустаційних нарадах;
- впровадження новітньої наукової інформації в навчальний процес.

У межах першого напрямку розроблено і затверджено нормативну документацію на безглютенову хлібопекарську продукцію: ТУ У 10.7 – 04718013 – 007:2014 «Вироби хлібобулочні аглютенів з використанням трансглютамінази і тваринних білків», ТІ У 10.7 – 04718013 – 007:2014 «Технологічна інструкція з виробництва хліба та хлібців аглютенів з використанням трансглютамінази і тваринних білків», «Технологічна інструкція з виробництва виробів булочних аглютенів з використанням трансглютамінази і тваринних білків». Можливість використання поліпшуючих добавок у складі хлібопекарської продукції підтверджено експертизою Міністерства охорони здоров'я України – Висновок державної санітарно-гігієнічної експертизи нормативної документації МОЗ України № 05.03.02-06/43369 від 03.07.2014 (Додаток 3).

З метою апробації нових технологій у промислових умовах на хлібопекарських підприємствах випущено дослідні партії продукції і проведено низку дегустаційних нарад продукції.

6.3. Соціальне значення наукової розробки

Аналізуючи ринок безглютенових хлібопекарських виробів на сьогоднішній день можна виділити як позитивні, так і негативні фактори макросередовища.

В Україні основні ресурси борошняної безглютенової сировини, необхідні для реалізації запропонованих технологій хлібопекарської продукції, є в наявності, не вимагають додаткових економічних витрат для її доставки, їх виробництво може бути дуже привабливим для вітчизняного виробника агропромислового комплексу, оскільки дозволяє розширити обсяги переробки і використання багатьох зернових культур.

Безглютенова продукція стає більш доступною і для споживача, оскільки продукція зарубіжних виробників – борошняні суміші для виробництва безглютенового хліба, наявні на вітчизняному ринку, – є досить коштовною і, як свідчить практичний досвід, перевищує вартість пшеничного борошна у 2...4 рази.

Таким чином, упровадження запропонованих технологій і поліпшуючих добавок призводить до наступних ефективних змін у виробництві продукції та її якості:

- знижується собівартість випеченої продукції внаслідок використання більш дешевої вітчизняної безглютенової борошняної сировини;
- підвищується харчова цінність готової продукції порівняно з виробами, виготовленими з одного виду борошна з додаванням крохмалю в якості коректора структури, внаслідок чого підвищується попит широких верств населення на цю продукцію.

6.4. Розрахунок очікуваних економічних показників хлібопекарського підприємства у разі виробництва безглютенових хлібобулочних виробів

Для оцінки конкурентоспроможності нових видів хлібобулочних виробів необхідно було визначити прогнозну ціну його реалізації. Для цього розраховували собівартість та відпускну ціну нових виробів. Розрахунок собівартості здійснювали за наведеною нижче номенклатурою статей витрат, які погоджуються з п.138.8 ст. 138 Податкового кодексу України щодо собівартості виготовлених та реалізованих товарів.

Стаття 1.Вартість сировини та матеріалів.

До складу статті включаються:

- витрати сировини й матеріалів, що входять відповідно до розробленої нами рецептури;
- величина транспортно- заготівельних витрат.

Таблиця 1. Розрахунок вартості сировини

Найменування сировини	Хліб «Гурман»				Хлібець «Расти большою»				Булочка «Песельська»				Булочка «Тополя»			
	Витрати сировини, кг	Ціна за 1 кг 9 з ПДВ, грн.	Вартість сировини, грн	Витрати сировини, кг	Ціна за 1 кг 9 з ПДВ, грн.	Вартість сировини, грн	Витрати сировини, кг	Ціна за 1 кг 9 з ПДВ, грн.	Вартість сировини, грн	Витрати сировини, кг	Ціна за 1 кг 9 з ПДВ, грн.	Вартість сировини, грн	Витрати сировини, кг	Ціна за 1 кг 9 з ПДВ, грн.	Вартість сировини, грн	Витрати сировини, кг
Борошно кукурудзяне	70,0	1,80	126	50,0	1,80	90	30,0	1,80	54	50	1,80	90	50	1,80	90	
Борошно рисове	30,0	10,00	300	50,0	10,00	500	70,0	10,00	700	50,0	10,00	500	50,0	10,00	500	
Дріжджі хлібопекарські пресовані	1,5	59,00	88,5	2,5	59,00	147,5	1,5	59,00	88,5	2,5	59,00	147,5	2,5	59,00	147,5	
Сіль поварена харчова	1,5	1,42	2,13	1,5	1,42	2,13	1,0	1,42	1,42	1,0	1,42	1,42	1,0	1,42	1,42	
Цукор-пісок	5,0	9,60	48	6,0	9,60	57,6	15,0	9,60	144	15,0	9,60	144	15,0	9,60	144	
Желатин або «Геліос-11»	2,0	60,0	120							2,0	60,0	120,0	2,0	60,0	120,0	
1,0	100	100								1,0	100	100,0	1,0	100	100,0	
Трансгліцеринат «REVADA TG»	0,07	1870,00	130,9	0,06	1870,00	112,2	0,06	1870,00	112,2	0,06	1870,00	112,2	0,06	1870,00	112,2	
Меланж	4,0	15,00	60	4,0	15,00	60	8,0	15,00	120	8,0	15,00	120	8,0	15,00	120	
Олія соняшникова	3,0	16,90	50,7	0,1	16,90	1,69	3,0	16,90	50,7	3,0	16,90	50,7	3,0	16,90	50,7	
Молоко сухе																
Цукрова пудра				15,0	16,00	240	2,0	8,20	16,40	20,0	40,00	800	20,0	40,00	800	
Сироватка молочна							15,0	16,00	240	15,0	16,00	240				
Ваніль							3,0	175,00	525	3,0	175,00	525				
Маргарин	3,0	12,80	38,4	3,0	12,80	38,4										
Кмин	1,0	30,00	30													
Часник				1,0	20,00	20										
Всього			1094,63			1269,52			2052,22			2052,22			2065,82	

Витрати на закупівлю сировини і матеріалів були розраховані за цінами придбання в оптовій та роздрібній торгівлі на вересень 2014 р. Розрахунок вартості сировини зведено в табл.1.

Результати наведених в таблиці 1 розрахунків свідчать про те, що витрати на закупівлю сировини для приготування хліба зі 100 кг суміші борошна та інших компонентів для хліба «Гурман» (ХГ) становлять 1094,63 грн., для хлібця «Расти большой» (ХРБ)- 1269, 52 грн., для булочки «Псельська»(БП)- 2052,22 грн., для булочки «Тополя» (БТ)- 2065,82 грн.

Величину транспортно-заготівельних витрат визначили як 2% від витрат на закупівлю сировини та матеріалів:

для ХГ $1094,63 \times 0,02 = 21,89$ (грн.)

для ХРБ $1269,52 \times 0,02 = 25,39$ (грн.)

для БП $2052,22 \times 0,02 = 41,04$ (грн.)

для БТ $2065,82 \times 0,02 = 41,32$ (грн.)

Усього по статті 1 вартість сировини та матеріалів складає 6 для ХГ $1094,63 + 21,89 = 1116,52$ (грн.), для ХРБ $1269,52 + 25,39 = 1294,91$ (грн.), для БП $2052,22 + 41,04 = 2093,26$ (грн.), для БТ $2065,82 + 41,32 = 2107,14$ (грн.)

Стаття 2.Зворотні відходи

Технологія продукту-аналогу та технології виробництва нових продуктів передбачають максимально повне (безвідходне) використання сировини та матеріалів, ця стаття витрат становить 1% від вартості сировини й матеріалів. Усього по статті 2: для ХГ $1116,52 \times 0,01 = 11,17$ (грн.); для ХРБ $1294,91 \times 0,01 = 12,95$ (грн.), для БП $2093,26 \times 0,01 = 20,93$ (грн.), для $2107,14 \times 0,01 = 21,07$ (грн.)

Стаття 3.Паливо та енергія на технологічні цілі

У цю статтю включається вартість закупуваних на стороні різних видів палива й енергії, необхідних для технологічних, енергетичних та інших потреб підприємства, для виробництва даної продукції, виходячи з потужності та часу роботи устаткування.

Сукупні питомі енерговитрати на виробництво розраховували як 1,2% від вартості сировини і матеріалів.

Усього по статті 3: для ХГ $1116,52 \times 0,012 = 13,40$ (грн.), для ХРБ $1294,91 \times 0,012 = 15,54$ (грн.), для БП $2093,26 \times 0,012 = 25,12$ (грн.). для БТ $2107,14 \times 0,012 = 25,29$ (грн.)

Стаття 4. Витрати на оплату праці

Витрати на оплату праці розраховували з урахуванням відомостей щодо оплати праці на підприємстві хлібопекарської галузі(1 людина отримує за годину праці 10,12 грн.).Тоді, для всіх продуктів витрати на оплату праці виробів складатимуть 286 грн.

Стаття 5. Відрахування на соціальне страхування

Стаття комплексна та включає: відрахування на обов'язкове соціальне страхування, відрахування в пенсійний фонд. Відрахування на ці витрати відповідно до діючого законодавства становлять 36,8% від фонду оплати працівників виробництва і складає $286,00 \times 0,368 = 105,25$ грн.

Стаття 6. Витрати, пов'язані з підготовкою та освоєнням виробництва.

До цих витрат відносять:

- витрати на освоєння нових видів продукції в період їхнього освоєння;
- витрати на освоєння нових виробництв.

Дані витрати були прийняті в розмірі 0,25% від вартості сировини та матеріалів.

Усього по статті 6: для ХГ $111,652 \times 0,0025 = 2,79$ (грн.), для ХРБ $1294,91 \times 0,0025 = 3,24$ (грн.), для БП $2093,26 \times 0,0025 = 5,23$ (грн.).для БТ $2107,14 \times 0,0025 = 5,27$ (грн.)

Стаття 7. Відшкодування зношування спеціальних інструментів і пристосувань цільового призначення та інші спеціальні витрати

Розмір витрат визначається як 0,5% від вартості машин та устаткування. Орієнтовна вартість машин та устаткування для виробництва продуктів становить 50 тис. грн. Тоді розмір витрат складає $50000 \times 0,005 = 250,00$ (грн.)

Стаття 8. Витрати на експлуатацію та утримання устаткування

Стаття комплексна та включає наступні елементи:

- витрати на повне відновлення основних виробничих фондів і капітального ремонту у вигляді амортизаційних відрахувань від вартості виробничого й підйомно-транспортного устаткування. На реконструкцію, модернізацію та капітальний ремонт основних фондів, що належать підприємству. А також використовуваних на правах оренди (лізингу), розраховані на основі їхньої балансової вартості та установлених норм;
- витрати на проведення поточного ремонту, технічного обслуговування устаткування;
- інші витрати, які пов'язані з експлуатацією устаткування.

Витрати по наведених напрямках визначили по відношенню до вартості машин та устаткування (0.08%) і складають $50000 \times 0,0008 = 40,00$ (грн.)

Стаття 9. Загальновиробничі витрати

До цієї статті відносять:

- витрати на оплату праці (основну та додаткову) допоміжного персоналу;
- відрахування на соціальне страхування від заробітної плати допоміжного персоналу;
- амортизаційні відрахування на повне відновлення та капремонт будинків, споруджень, що належать підприємству, а також використовуваних на правах оренди (лізингу), розраховані на основі їхньої балансової вартості та установлених норм амортизації;
- витрати на поточний ремонт будинків, споруд;
- інші витрати.

Розмір витрат по даній статті визначили, як 150% від витрат на оплату праці виробничих працівників і складає $286,00 \times 1,5 = 429,00$ (грн.)

Стаття 10. Загальногосподарські витрати

Загальногосподарські витрати становлять в середньому 180% від витрат на оплату праці виробничих працівників і складають $286,00 \times 1,5 = 429,00$ (грн.)

Стаття 11. Витрати внаслідок технічного неминучого браку

У цю статтю включається вартість остаточно забракованої продукції з технологічної причини. Їхня величина визначається як 0,2% від вартості сировини і матеріалів.

Усього по статті 11: для ХГ $1116,52 \times 0,002 = 2,23$ (грн.), для ХРБ $1294,91 \times 0,002 = 2,59$ (грн.), для БП $2093,26 \times 0,002 = 4,19$ (грн.), для БТ $2107,14 \times 0,002 = 4,21$ (грн.)

Стаття 12. Супутня продукція не передбачається

Стаття 13. Інші виробничі витрати

Стаття включає витрати, які пов'язані з організацією й обслуговуванням виробництва. Їхня величина становить 1,5% від вартості сировини і матеріалів.

Усього по статті 13: для ХГ $1116,52 \times 0,015 = 16,75$ (грн.), для ХРБ $1294,91 \times 0,015 = 19,42$ (грн.), для БП $2093,26 \times 0,015 = 31,40$ (грн.), для БТ $2107,14 \times 0,015 = 31,61$ (грн.)

Стаття 14. Виробнича собівартість розраховується шляхом складання величини витрат за статтями 1...13.

Виробнича собівартість складає:

Для ХГ $= 1116,52 + 13,40 + 11,17 + 286,00 + 105,25 + 2,79 + 250,00 + 40,00 + 429,00 + 514,80 + 2,23 + 16,5 = 2787,91$ (грн.)

Для ХРБ $= 1294,91 + 15,54 + 12,95 + 286,00 + 105,25 + 3,24 + 250,00 + 40,00 + 429,00 + 514,80 + 2,59 + 19,42 = 2973,70$ (грн.)

Для БП $= 2093,26 + 25,12 + 20,93 + 286,00 + 105,25 + 5,23 + 250,00 + 40,00 + 429,00 + 514,80 + 4,19 = 3805,18$ (грн.)

Для БТ $= 2107,14 + 25,29 + 21,04 + 286,00 + 105,25 + 5,27 + 250,00 + 40,00 + 429,00 + 514,80 + 4,21 + 31,61 = 3816,61$ (грн.)

Стаття 15. Позавиробничі (комерційні витрати)

Ця стаття містить витрати на пакування, передпродажну підготовку та вантажно-розвантажувальні роботи, рекламні та інші витрати по реалізації продукції, величина яких визначається у відсотках до виробничої собівартості (5%). Усього по статті 15: для ХГ $2797,91 \times 0,05 = 139,40$ (грн.), для ХРБ

$2973,70 \times 0,05 = 148,69$ (грн.). для БП $3805,18 \times 0,05 = 190,26$ (грн.), для БТ $3816,61 \times 0,05 = 190,83$ (грн.)

Повна собівартість продукції, яка включає усі види затрат на виробництво та реалізацію продукції становить:

Для ХГ $2787,91 + 139,40 = 2927,31$ (грн.)

Для ХРБ $2973,70 + 148,69 = 3122,39$ (грн.)

Для БП $3805,18 + 190,26 = 3995,44$ (грн.)

Для БТ $3816,61 + 190,83 = 4007,44$ (грн.)

Прибуток підприємства приймали в розмірі 15% від повної собівартості.

Отримуємо:

Для ХГ $2927,31 \times 0,15 = 439,10$ (грн.)

Для ХРБ $3122,39 \times 0,15 = 468,36$ (грн.)

Для БП $3995,44 \times 0,15 = 599,32$ (грн.)

Для БТ $4007,44 \times 0,15 = 601,12$ (грн.)

Оптова ціна виробу включає повну його собівартість та прибуток підприємства і становить:

Для ХГ $2927,31 + 439,10 = 3366,41$ (грн.)

Для ХРБ $3122,39 + 468,36 = 3590,75$ (грн.)

Для БП $3995,44 + 599,32 = 4594,76$ (грн.)

Для БТ $4007,44 + 601,12 = 4608,56$ (грн.)

Відпускна ціна виробу з ПДВ (ПДВ складає 20% від оптової ціни підприємства) складає:

Для ХГ $3366,41 + 673,28 = 4039,69$ (грн.)

Для ХРБ $3590,75 + 718,15 = 4308,90$ (грн.)

Для БП $4594,76 + 918,95 = 5513,71$ (грн.)

Для БТ $4608,56 + 921,71 = 5530,27$ (грн.)

Підсумки розрахунків собівартості виробництва та відпускної ціни продукту- аналога та нових продуктів узагальнено в табл.2

Таким чином, отримані розрахунки дозволили визначити відпускну ціну розроблених продуктів.

З урахуванням виходу хліба було розраховано ціну продукту-аналога та нових продуктів масою 1 кг. Вона складає : для ХГ-7,27 грн., для ХРБ -7,20 грн, для БП- 9,81 грн., для БТ – 9,40 грн.

При виробництві хліба з різною масою його вартість складатиме:

Для ХГ масою 0,7кг- 5,09 грн.; масою 1 кг- 7,27 грн.

Для ХРБ масою 0,7 кг- 5,04 грн.; масою 0,5 кг – 3,60 грн.; масою 0,3 кг- 2,16 грн.

Для БП масою 0,2 кг- 1,96 грн.

Для БТ масою 0,4 кг- 3,76 грн.

Якщо порівнювати ціни за 1 кг виробів, то найдешевшим є хлібець «Расти большой». Зменшення ваги виробу зменшує й ціну. Що може залучити додаткових споживачів.

Зниження відпускної ціни дозволить залучити додаткових споживачів та може бути джерелом економічного ефекту для підприємства-виробника, що відобразиться у збільшенні обсягу реалізації нових видів хліба та маси прибутку для підприємства.

Визначили ефективність від впровадження розробок шляхом розрахунку додаткового обсягу реалізації і масу прибутку.

Приріст обсягу реалізації (обсяг товарообороту) розраховували за формулою:

$$\Delta P = (P * T_p) : 100$$

де ΔP – приріст обсягу реалізації, грн..;

T_p – темп приросту обсягу реалізації, %;

P – фактичний обсяг реалізації даного виробу за певний період (рік), грн.

Фактичний обсяг реалізації хліба «Гурман» складає 12 тис. грн. Темп приросту обсягу реалізації визначали за формулою:

$$T_p = T_{\text{ц}} * K_{\text{ец}}$$

де $T_{\text{ц}}$ – темп зміни ціни, %;

$K_{\text{ец}}$ – коефіцієнт еластичності попиту по ціні.

Таблиця 6.2.

Розрахунок відпускної ціни нових видів безглютенових хлібобулочних виробів за статтями витрат

Статті витрат	Хліб «Гурман»	Хлібець «Расти бо- льшой»	Булочка «Псельська»	Булочка «Тополя»
1	2	3	4	5
Стаття 1. Витрати на закупівлю сировини	1116, 52	1294,91	2093,26	2104,14
Стаття 2. Зворотні відходи	13,40	15,54	25,12	25,29
Стаття 3. Паливо та енергія на технологічні цілі	11,17	12,95	20,93	21,04
Стаття 4. Витрати на оплату праці	286,00	286,00	286,00	286,00
Стаття 5. Відрахування на соціальне страхування	105,25	105,25	105,25	105,25
Стаття 6. Витрати, пов'язані з підготовкою та освоєнням виробництва	2,79	3,24	5,23	5,27
Орієнтована вартість машин та устаткування	50000,00	50000,00	50000,00	50000,00
Стаття 7. Відшкодування зношування спеціальних інструментів і пристосувань цільового призначення та інші спеціальні витрати	250,00	250,00	250,00	250,00
Стаття 8. Витрати на експлуатацію та утримання устаткування	40,00	40,00	40,00	40,00
Стаття 9. Загальновиробничі витрати	429, 00	429, 00	429, 00	429, 00
Стаття 10. Загальногосподарські витрати	514,80	514,80	514,80	514,80
Стаття 11. Витрати внаслідок технічного неминучого браку	2,23	2,59	4,19	4,21
Стаття 12. Супутня продукція	0,00	0,00	0,00	0,00
Стаття 13. Інші виробничі витрати	16,75	19,42	31,40	31,61
Стаття 14. Виробнича собівартість	2787,91	2973,70	3805,18	3816,61

Продовження табл. 6.2

1	2	3	4	5
Стаття 15. Позавиробничі (комерційні) витрати	139,40	148,69	190,26	190,83
Повна собівартість продукції	2927,31	3122,39	3995,44	4007,44
Прибуток підприємства	439,10	468,36	599,32	601,12
Оптова ціна виробу	3366,41	3590,75	4594,76	4608,56
ПДВ	673,28	718,15	918,95	921,71
Відпускна ціна за 1 т виробу	4039, 69	4308,90	5513,71	5530,27
Ціна за 1 кг продукту	4,04	4,31	5,51	5,53
Вихід хліба	180,00	167,00	178,00	170,00
Ціна за 1 кг з урахуванням виходу	7,27	7,20	9,81	9,40
Ціна за 700 г продукту	5,09	5,04	6,87	6,58
Ціна за 500 г продукту	3,64	3,60	4,91	4,70
Ціна за 400 г продукту	2,91	2,88	3,92	3,76
Ціна за 300 г продукту	2,18	2,16	2,94	2,82
Ціна за 200 г продукту	1,45	1,44	1,96	1,88

Коефіцієнт прямої еластичності попиту по ціні показує, на скільки відсотків змінюється попит споживачів при зміні ціни виробу на один відсоток. Даний коефіцієнт приймали в розмірі 4,5.

Темп зміни ціни визначали за формулою:

$$T_{\text{ц}} = (ВЦ_{\text{ан}} : ВЦ_{\text{нов.}} - 1) * 100\%$$

де $ВЦ_{\text{ан}}$ – ціна за 1 кг продукту-аналога, грн.;

$ВЦ_{\text{нов.}}$ – ціна за 1 кг нових виробів, грн..

Розраховуємо **темп зміни** (всі ціни взято за 1 кг продукції). За аналог візьмемо найдорожчий продукт булочка «Псельська»:

- Для хліба «Гурман»: $T_{\text{ц}} = (9,81:7,27 - 1) * 100\% = 34,9\%$
- Для хлібців «Расти большой»: $T_{\text{ц}} = (9,81:7,20 - 1) * 100\% = 36,2\%$
- Для булочки «Тополя»: $T_{\text{ц}} = (9,81:9,40 - 1) * 100\% = 4,4\%$

Темп приросту обсягу реалізації складатиме:

- Для хліба «Гурман»: $T_p = 34,9 * 4,5 = 157,05$;
- Для хлібців «Расти большой»: $T_p = 36,2 * 4,5 = 162,9$;
- Для булочки «Тополя» $T_p = 4,4 * 4,5 = 19,8$

Тоді, **приріст обсягу реалізації** складатиме:

- Для хліба «Гурман»: $\Delta P = (12 * 157,05) : 100\% = 18,85$ тис.грн
- Для хлібців «Расти большой»: $\Delta P = (12 * 162,9) : 100\% = 19,55$ тис.грн
- Для булочки «Тополя» $\Delta P = (12 * 19,8) : 100\% = 2,38$ тис.грн

Приріст маси прибутку розраховувала за формулою:

$$\Delta П = (\Delta P * P_{\pi}) : 100$$

де $\Delta П$ - приріст маси прибутку, грн. ;

P_{π} – рентабельність, що склалася на підприємстві (рівень прибутку), %.

На підприємстві, що досліджувалося, склався рівень прибутку в розмірі 15%.

Приріст маси прибутку складатиме:

- Для хліба «Гурман»: $\Delta П = (18,85 * 15) : 100 = 2,83$ тис.грн
- Для хлібців «Расти большой»: $\Delta П = (1,55 * 15) : 100 = 2,93$ тис.грн
- Для булочки «Тополя» $\Delta П = (2,38 * 15) : 100 = 0,36$ тис.грн

Більш дешевші види хлібобулочних виробів принесуть підприємству додатковий прибуток. Зростання прибутку призведе до підвищення ефективності діяльності підприємства взагалі і використання основних і оборотних коштів підприємства зокрема.

У таблиці 6.3. узагальнено джерела зростання економічної ефективності виробництва і реалізації нових безглютенових хлібобулочних виробів за новою технологією.

Таблиця 6.3.

**Показники ефективності виробництва безглютенових
хлібобулочних виробів**

Показники	Значення 1
1. Ціна хліба, грн./кг:	
- Хліб «Гурман»	7,27
- Хлібець «Расти большой»	7,20
- Булочка «Псельська»	9,81
- Булочка «Тополя»	9,40
2. Прогнозний приріст обсягу реалізації за рахунок зниження ціни підприємства-виробника, тис.грн	17,01
3. Середньогалузевий рівень рентабельності виробництва, %	15
4. Приріст прибутку підприємства-виробника (в розрахунку на діючий обсяг виробництва) при виробництві:	
- Хліб «Гурман»	2,83
- Хлібець «Расти большой»	2,93
- Булочка «Псельська» (продукт-аналог)	
- Булочка «Тополя»	0,36

Таким чином, виробництво нової продукції є економічно ефективним, про що свідчить як прогнозний обсяг реалізації, який перевищує аналогічний показник за продуктом-аналогом, так і рівень обсягу прибутку, що дозволить підприємству не тільки зміцнити свої позиції на ринку, але і збільшити прибутковість навіть в порівнянні із запланованими показниками. Розрахунки показали, що при впровадженні нових технологій відпускна ціна виробів зменшиться порівняно із ціною аналогу, а об'єм реалізації продукції при цьому збільшиться, і підвищиться прибуток.

Отже, види хлібобулочних виробів, виготовлені за новою технологією на основі безглютенової борошняної сировини, є конкурентоспроможною продукцією і їх впровадження у виробництво дозволить підвищити прибутковість підприємства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Узагальнення світового наукового і практичного досвіду вказує на перспективність застосування ферментних препаратів для регулювання технологічних властивостей безглютенової борошняної сировини та обмеженість експериментальних досліджень з цього питання, що свідчить про необхідність подальших ґрунтовних наукових досліджень у цьому напрямку. Доведено ефективність використання додаткових джерел білка сумісно з трансглютаміназою для поліпшення хлібопекарських властивостей безглютенових видів борошна, структурно-механічних властивостей тіста та якості хліба.

2. Обґрунтовано доцільність застосування борошняних сумішей для виробництва безглютенової хлібопекарської продукції. В якості базового компоненту суміші в кількості не менше 50% рекомендовані рисове, або кукурудзяне, або вівсяне борошно. Застосування кукурудзяного борошна в кількості 30% і більше потребує попереднє заварювання для запобігання надмірної крихкості м'якушки хліба.

3. В якості коректора структури безглютенових хлібобулочних виробів рекомендовано трансглютаміназу сумісно з білками, до яких вона виявляє високу реакційну здатність – желатин, Геліос-11, Сканпро Т95. За ефективністю дії на структуру безглютенового хліба з додаванням трансглютамінази реверсний ряд виглядає наступним чином: Геліос-11 > Сканпро Т95 > желатин. Питомий об'єм хліба збільшується на 40...45%, пористість на 10...12%. Рекомендована кількість білкових добавок – 1...2%, трансглютамінази – 0,05...0,10% до маси борошна.

4. Встановлено посилення пружно-еластичних та зниження пластичних характеристик тіста, зниження розпливання тіста, зменшення міцності адгезії тіста на 23...25%. Ефективність дії трансглютамінази підвищується за температури 45 °С.

Виявлено, що здатність тіста накопичувати та зброджувати цукри незначно (на 5...8 %) гальмується за наявності трансглютамінази. Доведено посилення

вологоутримувальної здатності безглютенового тіста в присутності цього ферменту.

5. За наявності рекомендованих добавок посилюється інтенсивність валентних коливань C=O-груп та плоских деформаційних коливань СН-груп. Доведено неадитивне зв'язування іонів H^+ і OH^- , що вказує на взаємодію між добавками і борошном. Застосування ферменту модифікує нативну конформацію макромолекул білків, знижуючи кількість вільних залишків лізину та глютамінової кислоти, що виявляється у зміні іонозв'язувальної здатності водно-борошняних суспензій.

Тривалість процесу клейстеризації водно-борошняних суспензій безглютенового борошна за додавання добавок незначно зменшується, а максимальна в'язкість суспензій знижується. Це пов'язано з підвищенням водопоглинальної здатності білкових молекул.

6. Спосіб введення Геліос-11 та Сканпро Т95 передбачає застосовування їх у вигляді сухих порошків шляхом дво- або трикратного попереднього змішування з борошняною сировиною на етапі підготовки сировини; водний розчин желатину доцільно застосовувати в якості рідкої фази тіста; транsgлютаміназу рекомендовано розчиняти у воді з подальшим використанням для замісу тіста або суспендування дріжджів.

Встановлено, що добавки виявляють високу ефективність дії в присутності цукру, олії, яєць. Додавання ферменту та добавок КВБ збільшує питомий об'єм хліба на 40...55%.

7. Оптимальними параметрами приготування тіста з безглютенового борошна (суміш рисового та кукурудзяного борошна у співвідношенні 1:1) з додаванням желатину і транsgлютамінази є такі: температура рідкої фази тіста – 38...42°C, вологість тіста – 49,5...50,2%, тривалість бродіння тіста – $(35...55) \times 60$ с. Обґрунтовано параметри приготування тіста з додаванням Геліос-11 і транsgлютамінази: температура рідкої фази тіста – 40...41,5°C, вологість тіста – 48...49%, тривалість бродіння – $(40...60) \times 60$ с.

Розроблено схему однофазного способу виробництва безглютенових хлібобулочних виробів, в якій, окрім застосування добавок, передбачено підвищення температури замісу до 38...42°C, вологості тіста до 48...50% та поєднання операцій бродіння тіста і розстоювання заготівель у формах. Розраховано комплексні показники якості нових виробів: булочка «Псельська» – 1,02, булочка «Тополя» – 1,05, хлібець «Расти большой» – 1,17, хліб «Гурман» – 1,15. Стискаємість безглютенового хліба через 72 год зберігання дорівнює показнику хліба без добавок через 24 год зберігання. Проте, подовжувати терміни зберігання нової продукції не рекомендовано через більш високу вологість виробів.

8. Розроблено і затверджено нормативну документацію: ТУ У 10.7 – 04718013 – 007:2014 «Вироби хлібобулочні аглютенів з використанням трансглютамінази і тваринних білків», технологічні інструкції «З виробництва хліба та хлібців аглютенових з використанням трансглютамінази і тваринних білків» та «З виробництва виробів булочних аглютенових з використанням трансглютамінази і тваринних білків». Економічний ефект від впровадження результатів роботи на підприємстві складає 2500 грн. при реалізації 1 т продукції(в цінах на 6.10. 2014 року).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jeffrey L. Gluten-free baked products/ L.C. Jeffrey, W.A. Atwell // AACCC International, Inc. – 2014. – 88 p.
2. Ciclitira P.J. The pathogenesis of celiac disease / P.J.Ciclitira, M.W.Johnson, D.H.Dewar, H.J.Ellis // Molecular Aspects of Medicine. –2005. –Vol.26. – 421 – 458 p.
3. Kasarda D.D. Grains in relation to celiac disease / D.D.Kasarda // Cereal Foods World. –2003. – Vol. 46. – 209–210 p.
4. БельмерС. В. Целиакия: стан проблеми [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <http://doctor.wponline.com/article/40350>. – Загл. с экрана.
5. МадзиевскаяТ. Безглютеновые хлебобулочные изделия и смеси в рационе больных целиакией / Т. Мадзиевская, И. Саванович, Т. Шункевич, Г. Асютина, А. Белая // Наука и инновации. – 2012. – №9 (115). – С.70–72.
6. Arendt E.K. Development of gluten-free cereal products / E.K.Arendt, C.M.O’ Brien, T.J.Schober, E.Gallagher, T.R.Gormley // Farm & Food. – 2002. – 21–27 p.
7. Ahlborn G.J. Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free breads / G.J.Ahlborn, O.A.Pike, S.B.Hendrix, W.M.Hess, S.H.Clayton // Cereal Chemistry. – 2005. –Vol. 82 (3). – 328–335 p.
8. Gallagher E. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products / E.Gallagher,T.R.Gormley, E.K.Arendt // Trends in Food Science & Technology. – 2003. –Vol. 15. – 143–152 p.
9. Schober J.T. Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids / J.T.Schober, M.Messerschmidt, S.R.Bean, S.H.Park, E.K.Arendt // Cereal Chemistry. – 2004. – Vol. 82. – 394–404 p.
10. Бабіч О.В. Розроблення технології “безглютенового” печива для хворих на целиакию : автореф.дис. ...канд.техн.наук.: 05.18.01 / О.В. Бабіч.; Нац. ун-т харч. технологій. — К., 2006. — 20 с.

11. Дорохович А. М. Маффіни на безглютеновому борошні для хворих на целіакію / А. М. Дорохович, Н. П. Лазоренко // *Ukrainian Food Journal*. – 2012. – № 1. – С. 61 – 58.
12. Clerici M. T. P. S. Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread. *LWT* / M. T. P. S. Clerici, C. Airolidi, A. A. El-Dash // *Food Science and Technology*. – 2009. – Vol. 42. – 618–623 p.
13. Hattner E. K. Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flour / E. K. Hattner, F. Dal Bello, E. K. Arendt // *Journal of Cereal Science*. – 2010. – Vol. 52. – 65–71 p.
14. Korus J. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread / J. Korus, M. Witczak, R. Ziobro, L. Juszczak // *Food Hydrocolloids*. – 2009. – Vol. 23. – 988–995 p.
15. Marco C. Effect of transglutaminase on protein electrophoretic pattern of rice, soybean, and rice-soybean blends / C. Marco, G. Purez, A. E. Leyn, C. M. Rosell // *Cereal Chemistry*. – 2008. – Vol. 85. – 59–64 p.
16. Marco C. Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours / C. Marc, C. M. Rosell // *Journal of Food Engineering*. – 2008. – Vol. 88. – 94–103 p.
17. Van Riemsdijk L. E. Preparation of gluten-free bread using a meso-structured whey protein particle system/ L. E. Van Riemsdijk, A. J. Van Der Goot, R. B. Hamer, R. M. Boom // *Journal of Cereal Science*. – 2011. – Vol. 53. – 355–361 p.
18. Дробот В. И. Использование гречневой муки в производстве безглютенового хлеба / В. И. Дробот, А. М. Грищенко, Л. А. Михоник // *Хранение и переработка зерна*. – 2011. – № 4 (142). – С. 61 – 62.
19. Дробот В. І. Технологічні аспекти використання борошна круп'яних культур у технології безглютенового хліба / В. І. Дробот, А. М. Грищенко // *Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. / Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського*. – 2013. – Вип. 30. – С. 52 – 58.

20. Физиология растений [Электронный ресурс] / Энциклопедический словарь Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона.— Режим доступа: http://dic.academic.ru/contents.nsf/brokgauz_efron/ –Загл. с экрана.
21. Равшанов С. Влияние режимов холодного кондиционирования на технологические свойства зерна пшеницы / С. Равшанов // Хлебопродукты. – 2011. – №10. – С. 52–53.
22. Process for the production of precooked cornmeal [Электронный ресурс] / Pat. US 2001/0026823A1 / Bonomelli S.R.L., Pellegrini M., Stucchi C. – №US 09/825,553; заявл. 03.04.2001; опубл. 04.10.2001. Режим доступа: <http://www.google.com.ar/patents/US20010026823>. – Загл. з екрану.
23. Process for the production of partially gelatinized rice flour[Электронный ресурс] / Pat. US6033709 A / Cargill I., Delrue R.M., Chamberlin W. – №US 09/137,923; заявл. 20.08.98; опубл. 07.03.2000. Режим доступа: <http://www.google.mv/patents/US6033709/> – Загл. з екрану.
24. Stemed durum wheat flour [Электронный ресурс] / Pat. US6010736 A / Motoi H., Omata K., Hirasawa F., Kyngo M. – №US 8/763434; заявл. 11.12.96; опубл. 04.01.2000. Режим доступа: <http://patents.justia.com/patent/6010736>. – Загл. з екрану.
25. Іуніхіна В. Борошно для дитячого й дієтичного харчування / В. Іуніхіна, В. Курцева, Є. Мельников // Зерно та хліб. – 2001. – №3. – С. 24.
26. Сирохман І. В. Якість і безпечність зерноборошняних продуктів / І.В. Сирохман, Т.М. Лозова // К.:Центр навчальної літератури, 2006. – 384с.
27. Богатырев А. Н. Основы управления инновациями в пищевом подкомплексе АПК (наука, технология, экономика) / Под ред. В. И. Тужилкина. – М.: Изд. комплекс МГУПП, 1997. – 882 с.
28. Лисицын А. Б. Продукты из соевой муки соевого поколения / А. Б. Лисицын, Б. Е. Гутник, И. Г. Анисимова, М. Смирнов, М. Икач, В. И. Маликова // Пищевая промышленность. – 2002. – №4. – С. 50–51.
29. Поландова Р. Д. Изучение активности липоксигеназы и разработка способов повышения эффективности применения сои при производстве пшеничного

- хлеба по интенсивной технологии / Р. Д. Поландова, Л. А. Шлеленко, Г. Ф. Дремучева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – №9. – С. 43–46.
30. Юрчак В. Борошно з бобових культур / В. Юрчак, Є. Ковалевська, В. Манк, Т. Євсеєнко // Зерно і хліб . – 2001. – №4. – С. 22.
31. Бондар І. Як поліпшити харчову цінність борошна / І. Бондар, В. Дробот // Харчова і переробна промисловість. – 2000. – №6. – С. 24–25.
32. Скорикова Г. Жорсткі дунсти проти черствіння хліба / Г. Скорикова, В. Ільчук, М. Копиціяк // Зерно та хліб. – 2004. – №3. – С.18–19.
33. Zoe M. Effect of wheat pearling on flour quality / M. Zoe, E. Sarah, P. Severino // Food Res. Int. – 2004. – Vol.37. – № 5. – 449–459 p.
34. Low carbohydrate flour [Электронный ресурс] / Pat. GB 2410414 A / Dudley S., Stoney L., Ashmore G. –№ 0401710.9;заяв. 27.01.2004. Опубл. 03.08.2005. Режим доступа: <http://www.directorypatent.com/GB/2410414-a.html/> – Загл. з екрану.
35. Черниш П. Борошно підвищеної крупності / П.Черниш, В. Ільчук // Зерно та хліб. 1997. – №1. – С. 28.
36. Горбенко В. Композиційні суміші. Яке їх майбутнє? / В. Горбенко, В. Денисенко // Зерно та хліб. – 2002. – №1. – С. 24–25.
37. Нетребский А.А. Повышение хлебопекарных свойств муки в процессе ее производства/А.А. Нетребский //Харчова наука і технологія. – 2009. –№1(6). – С. 68–70
38. Косцова И. С. Изучение возможности получения муки для производства мучных кондитерских изделий / И. С.Косцова, Д. М. Сычова // Техника и технология пищевых производств / Междунар. науч.–технич. конф. – Могилев, 2000. – С. 84–85.
39. Мука пшеничная хлебопекарная «Лидер» [Електронний ресурс] / Пат. RU 2267357 / Потапов С. С., Бородин Е. Д., Ковальчук Е. Н. и др. – № 2003117882/13. – Заявл. 18.06.2003; Опубл. 10.01.2006. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/226/2267357.html>. – Загл. з екрану.

40. Поландова Р. Д. Современные приоритеты в технологии хлебопекарного производства / Р.Д. Поландова // Пищевая промышленность. – 1996. – №3. – С. 8–10.
41. Сердюк Л. Лікувально–профілактичні продукти наоснові зернової сировини // Зерно та хліб. – 1997. – №4. – С. 34–35.
42. Руководство по обогащению муки для зерноперерабатывающих предприятий [Электронный ресурс] / Международная ассоциация пищевых добавок, консультационная служба проекта профилактики дефицита железа. 2006. – Режимдоступу:
<http://www.ffinetwork.org/implement/documents/RussianToolKit.pdf>. –Загл. з екрану.
43. Стабровская О. Анализ рынка многокомпонентных смесей для производства хлебобулочных изделий / О. Стабровская, А. Романов // Хлебопродукты. – 2011. – №1. – С. 46–47.
44. Березина Н. Моделирование состава готовой мучной смеси для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий / Н. Березина, И. Губина // Хлебопродукты. – 2012. –№ 2. – С. 60–62.
45. Способ производства хлебобулочных изделий [Электронный ресурс] / Пат RU 2099952 / Росляков Ю. Ф., Прудникова Т. Н., Костенко О. Л., Ильчишина Н. В. – Заявл. 20.03.96; Оpubл. 27.12.1997. Режим доступу:
<http://www.freepatent.ru/patents/2099952/> – Загл. з екрану.
46. Жирнова Е. Технологии многокомпонентных смесей с повышенным содержанием белка / Е. Жирнова, Е. Мельников // Хлебопродукты. – 2010. – №12. – С. 56–57.
47. Шаповаленко О.І. Дослідження якості суміші пшеничного та горохового борошна та зміни при зберіганні / О. І. Шаповаленко, Г. І. Скорікова, Л. В. Польовик, Є. І. Марченко // Зернові продукти і комбікорми. – 2009. – №3. – С. 25–28.

48. Антокольская М. Я. Новые кондитерские изделия / М. Я. Антокольская, М. М. Истомина, А. С. Овчинникова, Т. А. Соколовская. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 70 с.
49. Овчинникова А. С. Бобовые в производстве кондитерских изделий / А. С. Овчинникова, И. В. Тихомирова, Е. В. Агеева // Пищевая промышленность. – 1990. – №6. – с. 64–65.
50. Смеси для светлого хлеба [Электронный ресурс] / Хлебопекарь. Режим доступа: <http://hlebopekar.com/producty/> – Загл. з экрану.
51. Смеси для темного хлеба [Электронный ресурс] / Хлебопекарь. Режим доступа: http://hlebopekar.com/producty/smesi_dlya_temnogo_hleba. – Загл. з экрану.
52. Йогуртовый хлеб [Электронный ресурс] / Хлебопекарь. Режим доступа: http://hlebopekar.com/producty/smesi_dlya_svetlogo_hleba/iogurtovyi_hleb/ – Загл. з экрану.
53. Шамков Ю. Смесь для хлеба «8 злаков» / Ю. Шамков, Е. Воротникова // Хлебопродукты. – 2001. – №6. – С. 12–13.
54. Коршенко Л. О. Влияние растительных добавок на хлебопекарные свойства пшеничной муки и качество хлеба: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.15/ Л. О. Коршенко; [Рос. экон. акад. им. Г. В. Плеханова]. – М., 2000. – 24 с.
55. Суміші для виготовлення пшеничного хліба [Електронний ресурс] / «СОЛЕС». Режим доступа: <http://www.soles.com.ua/catalog/detail/?nkt=21/> – Загл. з экрану.
56. Кама – эстонский национальный продукт [Электронный ресурс] / AMSMEDIA 2011 Режим доступа: <http://www.bontemps.ru/produkti/krupi/ingredient.php?id=25171>. – Загл. з экрану.
57. Flour blends for breads, cakes, or noodles, and foods prepared from the flour blends/ Pat.US 6042867 A / Hoshino T., Yoshikawa R., Ito S., Hatta K., Nakamura T., Yamamori M., Hayakawa K., Tanaka K., Akashi H., Endo S., Tago S., Ishigami S. № 6,042,867; Оpubл. 28.03.2000.

58. Дулаев В. Г. Научно–технические аспекты создания зернопродуктов нового поколения с заданным содержанием основных питательных и биологически активных веществ/ В. Г. Дулаев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – №1. – С. 25–27.
59. Рыжова Л. Ф. Влияние овощных добавок и композиционных смесей на содержание полисахаридов в бисквитных полуфабрикатах / Л. Ф. Рыжова, И. Н. Сосунова, Г. С. Лешкова // Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания. Всесоюзн. научн. конф. – Харьков, 1990. – с. 297.
60. Способ получения муки с высоким содержанием пищевых волокон из смеси зерна ржи и пшеницы / Пат. 2162741 Россия: СПК7 В 02 С 9/04. / Дроздов В. С., Козлов И. А., Павлюк Ю. И. и др.; Опубл. 10.02.2001.
61. Дробот В. Зміни показників якості безглютенового хліба при зберіганні / В. Дробот, А. Грищенко // Ukrainian Food Journal. – 2013. – Vol.2.(3). – P. 347–353.
62. McCarthy D. F. Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread / D. F. McCarthy, E. Galager, T. R. Gormley, T. J. Schober, E. K. Arendt // Cereal Chem. – 2005. – Vol. 82. – P. 609–615.
63. Anton A. A. Hydrocolloids in gluten-free breads: a review/ A. A. Anton, S. D. Artfield // J. Food Sci. Nutr. – 2008. – Vol.59. – P.11–23.
64. Барсукова Н. В. Новые технологические подходы к созданию специализированных продуктов питания для безглютеновой диеты / Н. В. Барсукова, В. Н. Красильников // Материалы V Российского Форума «Здоровое питание с рождения: медицина, образование, пищевые технологии. Санкт-Петербург-2010», 12-13 ноября 2010 г. – СПб., 2010. – С. 7–8
65. Кучерук З. Вплив структуроутворюючої добавки ксантану на реологічні показники та рухливість води в тісті для дієтичного безбілкового хліба / З. Кучерук, О. Луньова // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2010. – №1. – С.16-18.

66. Казаков Е.Д. Состав, структура и свойства клейковины / Е.Д. Казаков// Хлебопродукты. – 2009. – №9. –С. 18–19.
67. Чайка И. Биотехнологи пытаются улучшить качество хлебопекарной пшеницы/И. Чайка // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2007. – №10. – С.29.
68. Коршенко Л. О. Обоснование использования гречневого солода при разработке композиции хлебопекарного улучшителя / Л. О. Коршенко, О. Г. Чижикова, Т. В. Танашкина, С. М. Доценко, Н. Н. Абдулаева, А. А. Семенюта // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 1. – С. 49–52.
69. Enzymes. Chapter 5 Application of Enzymes to Baked Products [Электронный-ресурс] / Paul R. Mathewson // Режимдоступу: <http://www.foodesource.com/content/pdf/enzymes/ch5.pdf/> – Загл. з екрану.
70. Кислухина А.В. Ферменты в производстве пищи и кормов / А.В. Кислухина. – М.: Колос, 2008. – 115 с.
71. Toker G. A. Enzymes in Food Processing / G. A. Toker, L. F. Woods. - New York: Academic and Professional, 1995. – P.161–190.
72. Sprossler B. G. Enzymes in Food Processing/B. G. Sprossler, T. Nagodawithana, G. Reed. – San Diego, New York: Academic Press, 1993. – 293 p.
73. Rugbierg V. Application of enzymes in baking / V. Rugbierg // Proc. II Meeting on Industrial Application of Enzymes. – Barcelona, 1987. – P.42.
74. Дрожжи и ферменты - амилазы, гемицеллюлазы, протеазы, липазы / [Электронный ресурс] / Baker group // Режим доступа: <http://baker-group.net/frozen-food/487.html/> – Загл. з екрану.
75. Вирич Л.Я. Применение бактериальных ферментных препаратов для улучшения качества хлебобулочных изделий/ Л.Я.Вирич, И.И.Люшинская, И.М.Ройгер, Е.И.Ведерникова // Обзор. – М.: ЦНИИТЭИПищепром, 1971. – 45 с.
76. Капрельянц Л. В. Использование ферментов в хлебопечении/ Л. В. Капрельянц // Харчова наука і технологія. – 2009. – №1(6). – С.34–38

77. Колупаева Т.Г. Ферментные препараты для сохранения свежести хлебобулочных изделий / Т.Г.Колупаева, И.В.Матвеева // Хлебопечение России. – 2001. – №1. – С.25–27.
78. Pandey A. Advances in microbial amylases / A. Pandey, P. Nigam // Biotechnol and Appl. Biochem. – 2002. – Vol.31. – P.145–152.
79. Попадич И. А. Исследование комплексного применения амилалитических препаратов и улучшителей окислительного действия в хлебопечении: дис. докт.техн.Наук / И. А.Попадич– М., 1972. – 443 с.
80. Поландова Р.Д. Производство пищевых добавок в хлебопечении /Р.Д. Поландова//Хлебопечение России. – 1996. – № 1 . – С. 10–12.
81. Быстрова А.И. Новые улучшители, технологии и хлебобулочные изделия / А.И.Быстрова, Г.А.Токарева, К.Л.Быстрый// Хлебопродукты. – 2006. – № 8. – С.24 – 26.
82. Матвеева И.В. Решение проблемы сохранения свежести хлебобулочных изделий / И.В.Матвеева, Т.Г.Колупаева // Хлебопекарное и кондитерское производство. – 2002. – № 5. – С.1–3.
83. Косован А.П. Хлебопекарные улучшители: тенденции развития и особенности применения / А.П.Косован, Г.Ф.Дремучева // Хлебопечение России. – 2006. – № 4. – С.20–23.
84. Rosell C.M. Enzymatic manipulation of gluten-free breads/ C.M.Rosell // Gluten-Free Food Science and Technology.–John Wiley & Sons, London. – 2009. –P. 83–98.
85. Pomeranz Y. Wheat is Unique/ Y. Pomeranz – St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemistry, 1989. – 467 p.
86. Rouau X. Investigation into the effects of enzyme preparation for baking on wheat flour dough pentosans/ X. Rouau // J. Sereal. Sci. – 1993. – Vol.18. – P. 145–157.
87. Rouau X. Effect of enzyme preparation containing pentosanases on the bread-making quality of flours in relation on changes in pentosan properties/ X. Rouau, M. L. El-Hayek, D. Moreau // J. Sereal. Sci. – 1994. – Vol.19.– P. 259–272.

88. Грачева И.М. Технология ферментных препаратов / И.М. Грачева. – М.: Агропромиздат, 1987. – 335 с.
89. Harconen H. Effect of xylanase and β -glucanase on the non-starch polysaccharides of whole meal rye slurry/ H. Harconen, P. Lehtinen, T. Suortti // J. Cereal Sci. – 1995. – Vol.25. – P.173–183
90. Вершинина О.Л. Пищевые добавки липидной природы и перспективы их применения в хлебопекарной промышленности / О.Л.Вершинина, Н.Н. Корни // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 1. – С. 25–27.
91. Pomeranz Y. Composition and functionality of wheat flour components /Y. Pomeranz // Wheat: Chemistry and Technology, 3rd ed., 1988. – Vol. 2. – P. 219–370.
92. Kaldy M. S. Influence of Gluten Components and Flour Lipids on Soft White Wheat Quality/ M. S. Kaldy, G. R. Kereliuk, G. C. Kozub // Cereal Chem. – 1993. – Vol. 1. – P. 77–80.
93. Dybdal L. Lipases in baking: new approaches to a mechanistic understanding / L. Dybdal, J. Q. Si, J. Borne, A. Eliasson // Proc. 1st European Symp. on Enzymes in Grain Processing. – Zeist, the Nederland: TNO Nutrition and Food Research Institute, 1997. – 67 p.
94. Кузьминский Р.В. Соя в пищевых продуктах/ Р.В. Кузьминский, В.Н. Мыриков // Пищевая промышленность. – 1997. – №6. – С. 64–65.
95. Ауэрман Л.Я. Применение картофельного сока для улучшения качества пшеничного хлеба / Л.Я.Ауэрман, Н.М.Казакевич, А.И.Орлова // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1974. – № 10. – С.8
96. Ауэрман Л. Я. Применение липоксигеназы в хлебопечении/ Л. Я. Ауэрман, Р. Д. Поландова, Т. И. Пименова // Обзор. – М.: ЦНИИТЭ пищепром, 1975. – С. 13–15.
97. Аннинкова Т.Ю. Стандартизация муки препаратами GRINDAMYL / Т.Ю. Аннинкова // Хлебопечение России.–2002. – № 5. – С. 34–36.
98. Матвеева И.В. Глюкозооксидаза для улучшения пшеничной муки и хлеба / И.В.Матвеева, Т.Г. Колупаева // Хлебопродукты. – 2007. – № 7. – С.25–27.

99. Agyare K. K. Emulsifying and foaming properties of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate as influenced by pH, temperature and salt/ Kingsley K. Agyare, Kwaku Addo, Youling L. Xiong // *Food Hydrocolloids*. – 2009. – Vol. 23. – P.72–81.
100. Motoki M. Transglutaminase and its use in food processing/ M.Motoki, K.Seguro // *Trends in Food Science and Technology*. – 1998. –Vol. 9. –204–210 p.
101. Folk J. E. The ϵ -(γ -glutamyl) lysine cross-link and the catalytic role of transglutaminase / J. E. Folk, J. S. Finlayson // *Advances in Protein Chemistry*. – 1977. – Vol. 31. – P. 1–133.
102. Nonaka M. Polymerization of several proteins by Ca^{2+} - independent transglutaminase derived from microorganisms/ M. Nonaka, H. Tanaka, A. Okiyama, M. Motoki, H. Ando, K. Umeda, A. Matsuura // *Agricultural and Biological Chemistry*. – 1989. –Vol. 53. – P. 2619–2623.
103. Min Yi Han. Microbial Transglutaminase Catalyzed the Cross-Linking of Myofibrillar/Soy Protein Isolate Mixtures [Электронный ресурс] Min Yi Han, Hai Zhen Zu, Xing Lian Xu, Guang Hong Zhou // *Journal of Food Processing and Preservation* (Impact Factor: 0.45). 09/2014; DOI: 10.1111/jfpp.12316 // Режим доступа: http://www.researchgate.net/publication/265172050_Microbial_Transglutaminase_Catalyzed_the_Cross-Linking_of_MyofibrillarSoy_Protein_Isolate_Mixtures/ – Загл. зэкрану
104. Ando H. Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms/ H. Ando, M. Adachi, K. Umeda, A. Matsuura, M. Nonaka, R. Uchio, H. Tanaka, M. Motok // *Agricultural and Biological Chemistry*. – 1989. – Vol. 53. – P. 2613–2617.
105. Okoyama K. Properties and applications of microbial transglutaminase / K. Okoyama, N. Nio, Y. Kikuchi // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2004. – Vol. 64. – P. 447–454.
106. Soeda T. Effects of microbial transglutaminase on the texture of surimi gels prepared from various kinds of fishes / T. Soeda, T. Sakai, S. Toiguchi // *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*. –1996. –Vol.43. – P. 787–795.

107. Sakamoto H. Gel strength enhancement by addition of microbial transglutaminase during onshore surimi manufacture/ H. Sakamoto, Y. Kumazawa, S. Toiguchi, K. Seguro, T. Soeda, M. Motoki // *J. Food Sci.* – 1995. – Vol. 60. – P. 300–304.
108. Seguro K. Microbial transglutaminase and Glutamyl Lysine crosslink effects on elastic properties of Kamaboko gels/ K. Seguro, Y. Kumazawa, T. Ohtsuka, S. Toiguchi, M. Motoki // *J. Food Sci.* – 1995. – Vol. 60. – P. 305–311.
109. Kumazawa Y. Suppression of surimi gel setting by transglutaminase inhibitors/ Y. Kumazawa, T. Numazawa, K. Seguro, M. Motoki // *J. Food Sci.* – 1995. – Vol. 60. – P. 715–717.
110. Kahn D. R. Factor XIIIa-catalyzed coupling of structural proteins/ D. R. Kahn, I. Cohen // *Biochim. Biophys. Acta.* – 1981. – Vol. 668. – P. 490–494.
111. Mehta K. Transglutaminases. Family of enzymes with diverse functions/ K. Mehta, R. Eckert // *Progress in experimental tumor research.* – 2005. – Vol. 38. – 253 p.
112. Ikura K. Cross-linking of casein components by transglutaminase/ K. Ikura, T. Kometani, M. Yoshikawa, R. Sasaki, H. Chiba // *Agric. Biol. Chem.* – 1980. – Vol. 44. – P. 1567–1573.
113. Kuraishi C. Transglutaminase: Its utilization in the food industry/ C. Kuraishi, K. Yamazaki, Y. Susa // *Food Rev. Int.* – 2001. – Vol. 17. – P. 221–246.
114. Chanyongvorakul Y. Physical properties of soy bean and broad bean 11S globulin gels formed by transglutaminase reaction/ Y. Chanyongvorakul, Y. Matsumura, M. Nonaka, M. Motoki, T. Mori // *J. Food Sci.* – 1995. – Vol. 60. – P. 483–489.
115. Larrer C. Biochemical analysis and rheological properties of gluten modified by transglutaminase/ C. Larrer, D. Papini, Y. Popineau // *Cereal Chemistry.* – 2000. – Vol. 77. – P. 32–38.
116. Tseng G. Physicochemical properties of wheat flour dough modified by microbial transglutaminase/ G. Tseng, M. Y. Lai // *Journal of Food Science.* – 2002. – Vol. 67. – P. 750–755.

117. Koksel V. Effects of transglutaminase enzyme on fundamental rheological properties of sound and bug damaged wheat flour dough / V. Koksel, P. Sivri, D. Steffe // *Cereal Chemistry*. – 2001. – Vol. 78. – P. 26–30.
118. Bauer N. Studies on effects of microbial transglutaminase on gluten proteins of wheat. I. Biochemical analysis/ N. Bauer, P. Koehler, H. Wieser, P. Schicberle // *Cereal Chemistry*. – 2003. – Vol. 80. – P. 781–786.
119. Bauer N. Studies on effects of microbial transglutaminase on gluten proteins of wheat. II. Rheological properties/ N. Bauer, P. Koehler, H. Wieser, P. Schicberle // *Cereal Chemistry*. – 2003. – Vol. 80. – P. 787–790.
120. Porta R. Cereal dietary proteins with sites for cross-linking by transglutaminase / R. Porta, V. Gentile, C. Esposito, L. Mariniello, S. Auricchio // *Phytochemistry*. – 1990. – Vol. 29. – 2801–2804 p.
121. Dube M. Texturisation and modification of vegetable proteins for food applications using microbial transglutaminase / M. Dube, C. Schafer, S. Neidhart, R. Carle // Springer-Verlag. – 2006. – 287–299 p.
122. Basman A. Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality characteristics of two wheat flours/ A. Basman, H. Koksel, P. K. W. Ng // *European Food Research and Technology*. – 2002. – Vol. 215. – 419–424 p.
123. Basmann A. Utilization of Transglutaminase used to increase the level of barley and soy flour incorporation in wheatflour breads / A. Basmann, H. Koksel, P. K.W. Ng // *J. Food Sci.* – 2003. – Vol. 68. – 2453–2460 p.
124. Poza O. D. Transglutaminase in baking applications/ O. D. Poza // *C. Cereal Foods World*. – 2002. – Vol. 47. – 93–95 p.
125. Graber S. Influence of enzyme treatment on the rheology of rye dough / S. Graber // *Nahrung*. – 1999. – Vol. 43. – 249–252 p.
126. Reduced stickiness, improved gas retention [Электронный ресурс] / Pat. US 6517874B2 / Schuhmann F. – №US 09/954,158; заявл. 18.09.2001; опубл. 11.02.2003. Режим доступа: <http://www.google.com.ar/patents/US6517874/> – Загл. экрану.

127. An Y. H. Effects of transglutaminase on the physical properties of resistant starch-added wheat flour doughs and baguettes/ Y. H. An, D. O. Gang, M. Shin // Food Sci. Biotechnol. – 2005. – Vol. 14. – 608–613 p.
128. Pečivová P. Changes of properties of wheat flour dough by combination L-ascorbic acid with reducing or oxidising agents/ P. Pečivová, V. Pavlínek, J. Hrabě // Acta Chimica Slovaca. – 2011. – Vol. 4 (2). – 108–117 p.
129. Collar C. Impact of microbial transglutaminase on the staling behavior of enzyme-supplemented pan breads/ C. Collar, C. Bollaín // Eur. Food Res. Technol. – 2005. – Vol. 221. – 298–304 p.
130. Collar C. Impact of microbial transglutaminase on the viscoelastic profile of formulated bread doughs/ C. Collar, C. Bolla // Eur. Food Res. Technol. – 2004. – Vol. 218. – 139–146 p.
131. Collar C. Significance of microbial transglutaminase on the sensory, mechanical and crumb grain pattern of enzyme supplemented fresh pan breads[Текст] / C. Collar, C. Bolla, A. Angioloni // Journal of Food Engineering. – 2005. – Vol. 70. – 479–488 p.
132. Curic D. Design of a quality index for the objective evaluation of bread quality: Application to wheat breads using selected bake off technology for bread making / D. Curic, D. Novotni, D. Skevin, C. M. Rosell, C. Collar, A. Le Bail, I. Colic-Baric, D. Gabric // Food research international. – 2008. – Vol. 41 (7). – P. 714–719.
133. Yamazaki K. Modified cereal flour and processed food using the same / K. Yamazaki, T. Soeda. – Patent EP 0847701. – 1998.
134. Rosell C.M. Wheat Flour Proteins as Affected by Transglutaminase and Glucose Oxidase / C.M. Rosell, J. Wang, S. Aja, S. Bean, G. Lookhart // Cereal Chem. – 2003. – Vol. 80. – P. 52–55.
135. Gerrard J.A. Pastry lift and croissant volume as affected by microbial transglutaminase/ J.A. Gerrard, M.P. Newberry, M. Ross, A.J. Wilson, S.E. Fayle, S. Kavale // Food Sci. – 2000. – Vol. 65 (2). – P. 312–314.

136. Gerrard J.A. Effects of microbial transglutaminase on the wheat proteins of bread and croissant dough/ J.A. Gerrard, S.E. Fayle, P.A. Brown, K.H. Sutton, L. Simmons, I. Rasiah // *J. Food Sci.* – 2001. – Vol. 66. – P. 782–786.
137. Rasiah I.A. Crosslinking of wheat dough proteins by glucose oxidase and the resulting effects on bread and croissants/ I.A. Rasiah, K.H. Sutton, F.L. Low, H.M. Lin, J.A. Gerrard // *Food Chemistry.* – 2005. – Vol. 89 (3). – P. 325–332.
138. Wijngaards G. Transglutaminase as a potential tool in developing new protein ingredients and foods / G. Wijngaards, Y. Zhu, J.M. Maagd, J. Bol // *Medical Faculty Landbouww, University of Gent.* – 1997. – Vol. 62. – P. 1381–1383.
139. Gerrard A.J. Dough properties and crumb strength of white panbread as affected by microbial transglutaminase / A.J. Gerrard, S.E. Fayle, A.J. Wilson, M.P. Newberry, M. Ross, S. Kavale // *Journal of Food Science.* – 1998. – Vol. 63. – P. 472–475.
140. Gottmann K. Baking agent and process for the manufacture of dough and bakery products/ K. Gottmann, B. Sproessler // *Patent EP 0492406.* – 1995.
141. Siu N.C. Physicochemical and structural properties of oat globulin polymers formed by a microbial transglutaminase / N.C. Siu, C.Y. Ma, Mine // *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* – 2002. – Vol. 50. – P. 2660–2665.
142. Kupper C. Dietary guidelines and implementation for celiac disease / C. Kupper // *Gastroenterology.* – 2005. – Vol. 128 (4). – P. 121–127.
143. McGough N. Coeliac disease: a diverse clinical syndrome caused by intolerance of wheat, barley and rye / N. McGough, J. Cummings // *Proceedings of the Nutrition Society.* – 2005. – Vol. 64. – P. 434–450.
144. Kuraishi C. Transglutaminase: its utilization in the food industry / C. Kuraishi, K. Yamazaki, Y. Susa // *Food Reviews International.* – 2001. – Vol. 17. – P. 221–246.
145. Babiker E.E. Effect of transglutaminase treatment on the functional properties of native and chymotrypsin-digested soy protein / E.E. Babiker // *Food Chemistry.* – 2000. – Vol. 70. – P. 139–145.

146. Babin H. Influence of transglutaminase treatment on the thermoreversible gelation of gelatin / H. Babin, E. Dickinson // *Food Hydrocolloids*. – 2001. – Vol. 15. – P. 271–276.
147. Basman A. Effects of transglutaminase on SDS–PAGE patterns of wheat, soy and barley proteins and their blends / A. Basman, H. Koksel, P.K.W. Ng // *Journal of Food Science*. – 2002. – Vol. 67. – P. 2654–2658.
148. Jun Kang I. Gelation and gel properties of soybean glycin in a transglutaminase-catalyzed system / I. Jun Kang, Y. Matsumura, K. Ikura, M. Motoki, H. Sakamoto, T. Mori // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1994. – Vol. 42. – P. 159–165.
149. Motoki M. Functional properties of food proteins polymerized by transglutaminase / M. Motoki, N. Nio, K. Takinami // *Agricultural and Biological Chemistry*. – 1984. – Vol. 48. – P. 1257–1261.
150. Siu N.C. Functional properties of oat globulin modified by a calciumindependent microbial transglutaminase / N.C. Siu, C.Y. Ma, W.Y. Mock, Y. Mine // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2002. – Vol. 50. – P. 2666–2672.
151. Arendt E.K. Gluten-free cereal products and beverages / E.K. Arendt, F. Dal Bello. – First ed. Academic Press, London – 2008.
152. Gallagher E. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products / E. Gallagher, T.R. Gormley, E.K. Arendt // *Trends in Food Science and Technology*. – 2004. – Vol. 15. – P. 143–152.
153. Onyango C. Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase / C. Onyango, C. Mutungi, G. Unbehend, M.G. Lindhauer // *Journal of Food Engineering*. – 2010. – Vol. 97. – P. 465–470.
154. Kupper C. Dietary guidelines and implementation for celiacdisease / C. Kupper // *Gastroenterology*. – 2005. – Vol. 128 (4). – P. 121–127.

155. Moore M.M. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase / M.M. Moore, M. Heinbockel, P. Dockery, H.M. Ulmer, E.K. Arendt // *Cereal Chemistry*. – 2006. – Vol. 83. – P. 28–36.
156. Renzettia S. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase / S. Renzettia, F.D. Belloa, E.K. Arendta // *Journal of Cereal Science*. – 2008. – Vol. 48. – P. 33–45.
157. Shin M. Effects of Protein and Transglutaminase on the Preparation of Gluten-free Rice Bread / M. Shin, D.-O. Gang, J.-Y. Song. // *Food Sci. Biotechnol.* – 2010. – Vol. 19(4). – P. 951–956.
158. Marco C. Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours / C. Marco, C.M. Rosell. // *Journal of Food Engineering*. – 2008. – Vol. 88. – P. 94–103
159. Autio K. Kinetics of transglutaminase-induced cross-linking of wheat proteins in dough / K. Autio, K. Kruus, A. Knaapila, N. Gerber, L. Flander, J. Buchert // *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. – 2005. – Vol. 53. – P. 1039–1045.
160. Bonet A. Formation of homopolymers and heteropolymers between wheat flour and several protein sources by transglutaminase catalysed crosslinking / A. Bonet, W. Blaszcak, C.M. Rosell // *Cereal Chemistry*. – 2006. – Vol. 83. – P. 655–662.
161. Fan J. Gel-forming ability and radical-scavenging activity of soy protein hydrolysate treated with transglutaminase / J. Fan, M. Saito, Z. Yanyan, T. Szesze, L. Wang, E. Tatsumi, L. Li // *Journal of Food Science*. – 2005. – Vol. 70. – P. 87–92.
162. Autio K. Kinetics of transglutaminase induced cross-linking of wheat proteins in dough/ K. Autio, K. Kruus, A. Knaapila, N. Gerber, L. Flander, and J. Buchert// *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2005. – Vol. 53. – P. 1039–1045.
163. Marco C. Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties / C. Marco, C.M. Rosell // *Journal of Food Engineering*. – 2008. – Vol. 84. – P. 132–139.

164. Gujral H. S. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase / H. S. Gujral, C. M. Rosell // *Journal of Cereal Science*. – 2004. – Vol. 39. P. 225–230.
165. Moore M. M. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase / M. M. Moore, M. Heinbockel, P. Dockery, H. M. Ulmer, E.K. Arendt // *Cereal Chemistry*. – 2006. – Vol. 83. – P. 28–36.
166. Renzetti S. Transglutaminase polymerisation of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) proteins / S. Renzetti, J. Behr, R. Vogel, E.K. Arendt // *Journal of Cereal Science*. – 2008. – Vol. 48. – P. 747–754.
167. Arendt E.K. *Science of Gluten-free Food and Beverages* / E.K. Arendt, F. Dal Bello. AACC Publishers: New York, 2009. ISBN 978-1-891127-67-0.
168. Marco C. Effect of transglutaminase on protein electrophoretic pattern of rice, soybean, and rice-soybean blends / C. Marco, G. T. Pérez, A. E. León, C. M. Rosell // *Cereal Chem.* – 2008. – Vol. 85 (1). – P. 59–64.
169. Soares L.H.B. Physicochemical properties of free food proteins treated with transglutaminase/ L.H.B. Soares, P.M. Albuquerque, F. Assmann, M.A. Zachia Ayub // *Ciencia Rural*. – 2004. - Vol. 34 (4). – P. 1219–1223.
170. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур/ Под ред. М.А. Федина. – М.: Калининская городская типография управления изд-в, 1988. – 122 с.
171. Сафонова О. М. Наукове обґрунтування та розроблення технологій борошнених кондитерських і хлібопекарських продуктів з використанням нетрадиційної борошняної сировини: дис. ... доктора техн. наук : 05.18.01 / О.М. Сафонова. – К., 2007. – 335с.
172. Напівавтоматизований текстурометр для визначення структурно-механічних показників харчових продуктів : пат. на корисну модель №90314 України / Шаніна О.М., Гурський П.В., Прасол Д.Ю. та ін. - заявник та патентовласник : Шаніна О.М., Гурський П.В. – № u 201312887 ; заявл. 05.11.13 ; опубл. 25.06.2014, Бюл. №10.

173. Дробот В.І. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв / В.І. Дробот, Л.Ю. Арсеньєва, О.А. Білик та ін. – Київ: Центр навчальної літератури, 2006.– 341 с.
174. Усембаева Ж.К. Биотехнологические основы регулирования и интенсификации процессов хлебопекарного производства с применением новых видов сырья: дис.д.т.н. 05.18.01 / Ж.К. Усембаева. – М., 1999.– 626 с.
175. Практикум по биохимии / Под ред. С. Г. Северина, Г. А. Соловьевой. 2-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 509 с.
176. Теоретические и практические основы проведения электрофореза белков в полиакриламидном геле [Электронный ресурс] / И.В. Стручкова, Е.А. Кальясова: Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 60 с. – Режим доступа: http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/Struchkova_Kalyasova.pdf/ – Загл. з екрану.
177. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник/ Под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.
178. Shanina O. System analysis and modelling in food technology / O. Shanina, A. Teymurova, F. Persevoy. – Харків: Віровець А.П. «Апостроф», 2013. – 196 с.
179. Матвеева И. Перспективные виды сырья для производства безглютеновых изделий / И. Матвеева, В. Нестеренко // Хлебопродукты. – 2011. – № 8. – С. 42–44.
180. Цыганова Т. Формирование рецептур для производства безбелковых и безглютеновых продуктов / Т. Цыганова, Д. Шнейдер, Е. Костылева, А. Козлов // Хлебопродукты. – 2011. – №12. – С. 44–46.
181. Чемодурова Е.И. Разработка технологии овсяной сортовой муки: автореф.дис. ... канд. техн. наук : 05.18.02 / Е.И. Чемодурова; [МТИПП]. – М., 1990. – 20 с.
182. Bakery ingredients //Food ingredients and Anal. Int. – 1995. – Vol.17 (5). – P. 6–8.

183. Зюзько А.С. Изменение углеводно–амилазного комплекса пшеничной муки при добавлении продуктов переработки риса / А.С. Зюзько, И.Б. Красина, Т.Н. Прудникова // Научные основы прогрессивных технологий хранения и переработки сельхозпродукции для создания продуктов питания человека / Науч. – теор. конф. – Углич, 1995. – с. 62.
184. Кузнецова Н. Разработка хлебобулочных изделий с использованием продуктов из крупяных культур / Н. Кузнецова, О. Черкасова, Т. Снагина // Хлебопродукты. – 1995. – №11. – С. 14–16.
185. Kadan R.S. Texture and other physicochemical properties of whole rice bread / R.S. Kadan, M.G. Robinson, D.P. Thibodeaux, A.B. Pepperman // I. Food Sci. – 2000. – Vol. 66 (7). – P. 940–944.
186. Дробот В.И. Использование нетрадиционного сырья в хлебопекарной промышленности: Справочник / В.И. Дробот. – К.: Урожай, 2000. – 152 с.
187. Adelakin O.E. Effect of soybean substitution on some physical, compositional and sensory properties of kokoro (alocab maize snach)/ Adelakin O.E., Adejuyitan J.A., Olajide J.O. // Eur. Food Res. And Technology. – 2005. – Vol. 220 (1). – P.79–82.
188. Санина Т.В. Влияние дозировки гречневой муки на качество ржано–пшеничного теста и хлеба / Т.В. Санина, Е.И. Пономарева, В.А. Дятлов : материалы 39 Отчетн. научн. конф. Воронеж. гос. технол. академии за 2000 год. – Воронеж, 2001. Ч.1. Воронеж: Изд–во ВГТА, 2001. – С. 34–35.
189. Skore D. Influence Buckwheat Flour to wheat dough properties / D. Skore, D. Kunkulberga, D. Karklina: материалы 2–й Междунар.науч.–техн.конф. «Техника и технология пищевых производств». – Могилев: Изд–во Мог.техн.ин–та, 2000. – С. 140–141.
190. Farine composee destinee a l’elaboration de produits alimentaires, en particulier de boulangerie et/ou4 patisserie/ Pat. 2808420 Fran, МПК7 А 21 Д 2/36, А 21 Д 13/04. / Picart C.; Оpubл. 09.11.2001.
191. Thompson T. Oats and gluten-free diet / T. Thompson // J. Am. Diet. Assoc. – 2003. – Vol.103. – P.376–379.

192. Hoffenberg E.J. Atrial of oats in children with newly diagnosed celiac disease / E.J. Hoffenberg, J. Haas, A. Drescher, R. Barnhurst, I. Osberg, F. Bao, G. Eisenbarth // J. Pediatr. – 2000. – Vol. 137. – P. 361–366.
193. Mor M.M. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase / M.M. Mor, M. Heinbockel, P. Dockery, H.M. Ulmer, E.K. Arendt // Cereal Chem. – 2006. – Vol. 83 – P. 18–36.
194. ACTIVA® Transglutaminase. Substrate Specificity (food proteins) [Електронний ресурс] / Ajinomoto. 2014. – Режим доступу: http://www.ajinomoto.de/cms/front_content.php?idcat=183
195. Shanina O. Production challenge sofenriched flour products / O. Shanina, K. Dugina, V. Zverev, T. Gavrish, M. Domahina, N. Lobacheva // Materials of the III International and Practice Conferenc. «European Science and Technology». – Munich, Germany, 2012. – Vol.1. – P. 248–252.
196. Лобачева Н. Л. Технологічні аспекти формування структури виробів з безглютенової борошняної сировини / Н. Л. Лобачева, О. М. Шаніна // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: матер. XIII Міжнародної науково-практичної конференції 7 листопада 2013р. – Харків, 2013. – С.71–79.
197. Shanina O. Animal proteins and enzymes – effective dough and bread improvers [Електронний ресурс] / О. Shanina, Т. Gavrish, М. Domahina, N. Lobacheva, I. Shanina / 104th AOCS Annual Meeting&Expo, 2013. – Режим доступу: <http://www.aocs.org/archives/am2013/showarea.cfm?interest=Protein%5Fand%5FCo%2DProducts/> – Загл. з екрану.
198. Лобачова Н. Л. Удосконалення технології безглютенового хліба/ Н. Л. Лобачова, О. М. Шаніна: матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ. – Суми, 2013. – Т. III. – С.159.
199. Lobacheva N. Rheology, baking and organoleptic characteristics of breads from different gluten-free flours with transglutaminase and proteins supplements / N. Lobacheva, O. Shanina, K. Dugina, T. Gavrish: Proceedings of 8th CIGR Internat. Tech. Symposium Section VI “Advanced Food Processing” incorporating 1st

- International Congress on Contemporary Food Science and Engineering. – Guangzhou, China, 2013. – P. 31.
200. Пат. № 86050 Україна, МПК A21D 10/00 (2006.01). Спосіб виробництва безглютенового хліба / Шанина О.М., Лобачева Н.Л., Гавриш Т.В.; заявник та патентовласник Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка.— № u201307689; заявл. 17.06.2013р.опубл. 10.12.2013 р., Бюл. № 23. – 4 с.
201. Лобачева Н.Л. Практика и перспективы применения фермента трансглютаминаза для регулирования свойств мучных продуктов / Н.Л. Лобачева, В.А. Зверев, В.А. Алексенко, О.Н. Шанина: Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства» (16-17 октября 2014 г.) – Алматы: АТУ, 2014. – с. 148.
202. Мачихин Ю. А. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник/ Под ред. Ю. А. Мачихина. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
203. Силаев О. Г. Разработка способов изменения адгезионных и фрикционных свойств теста: автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1983. – 23 с.
204. Воробьева Л. И. Стабилизация качества пшеничного хлеба путем оптимизации температурного режима замеса теста [Электронный ресурс] / автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1993. – 28 с.— Режим доступа: \www/ URL:<http://tekhnosfera.com/stabilizatsiya-kachestva-pshenichnogo-hleba-putem-optimizatsii-temperaturnogo-rezhima-zamesa-testa>
205. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва / В.І.Дробот.— К.: Логос, 2002. – 365 с.
206. Братерский Ф. Д. Ферменты зерна / Ф. Д. Братерский. – М.: Колос, 1994. – 196 с.
207. Чудік Ю. В. Регулювання водопоглинальної здатності борошняних сумішей/ Ю. В. Чудік, О. М. Сафонова: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. Вісник ХДТУСГ. – Вип. 16. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – С. 165–170.

208. Авершина О. Б. Дослідження хлібопекарських властивостей фракції борошна з підвищеним вмістом білкових речовин/ О. Б. Авершина: Зб.наук. праць студентів / Науковий пошук молодих дослідників. –Технічні науки. – № 2. – Луганськ: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013. – С. 31–35.
209. Damodaran S. Fennema's Food Chemistry/ S. Damodaran, K. L. Parkin, O. R. Fennema. – Fourth Edition. – CRC Press, 2007. – 1160 p.
210. Bonet A. Formation of homopolymers and heteropolymers between wheat flour and several protein sources by transglutaminase catalyzed crosslinking/ A. Bonet, W. Blaszcak, C. M. Rosell // Cereal Chemistry. – 2006. – Vol.83. – P. 655–662.
211. Salmenkallio-Marttila M. Effects of gluten and transglutaminase on microstructure, sensory characteristics and instrumental texture of bread/ M. Salmenkallio-Marttila, K. Roininen, K. Autio, L. Lähteenmäki // Agricultural and Food Science. – Vol. 13. – P. 138–150.
212. Шаніна О. М. Вивчення впливу ферменту трансглютамінази на конфірмаційний стан білків борошняного тіста/ О. М. Шаніна, Н. Л. Лобачова // Наукові праці ОНАХТ. Серія: Технічні науки / Одеська національна академія харчових технологій. — Вип. 44. Т.1. – Одеса, 2013. – С. 135–139.
213. Шаніна О. М. Дослідження іонозв'язувальної здатності білків безглютенового борошняного тіста за додавання трансглютамінази / О. М. Шаніна, Н. Л. Лобачова // Обладнання та технології харчових виробництв: темат.зб.наук.праць ДонДУЕТ. – Вип.32. – Донецьк, 2014. – С. 136–143.
214. Шаніна О. М. Дослідження впливу трансглютамінази та білкових добавок на вологоутримувальну здатність безглютенового борошняного тіста/ О. М. Шаніна, Н. Л. Лобачова // Вісник ХНТУСГ ім.П.Василенка. Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. – Вип. 152. – Харків, 2014. – С. 243–250.
215. Шаніна О. М. Вологоутримувальна здатність борошняного тіста з додаванням ферменту трансглютамінази/ О. М. Шаніна, Н. Л. Лобачова, В. О. Зверев // Наукові праці ОНАХТ. Серія: Технічні науки / Одеська національна академія харчових технологій. – Вип. 46. Т.1. – 2014. – С.153–157.

216. Шаніна О. М. Вплив ферменту трансглютаміназа на властивості білків борошна/ О. М. Шаніна, Н. Л. Лобачова, В. О. Зверев // Восточно-Европейский журнал передових технологій. – 2014. – 5/11 (71). – С. 28–33.
217. Лобачова Н. Л. Особливості процесу клейстеризації крохмалю кукурудзяного борошна, обробленого транслюмагіназою/ Н. Л. Лобачова, Г. Варако, О. М. Шаніна // Проблеми формування здорового способу життя у молоді: збірник матер. VII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів з міжнародною участю, 4-5 листопада 2014 р. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – С. 99.
218. Шаніна О. М. Вивчення деформаційних процесів у безглютеновому тісті/ О. М. Шаніна, Н. Л. Лобачова, А. О. Ліфенцева // Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві: міжнар. наук.-практ. інтернет-конференція, 12-14 листопада 2014 р. – Харків: ХДУХТ, 2014. – С. 143–144.
219. Сафонова О. М. Обґрунтування способу введення концентратів тваринних білків до складу борошняних сумішей/ О. М. Сафонова, А. Т. Теймурова, К. В. Дугіна, І. О. Головка: Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. – Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №17. – С. 117–122.
220. Basic Dough with Pate Fermentee [Електронний ресурс] / Food Network, 2014. – Режим доступу: <http://www.foodnetwork.com/recipes/basic-dough-with-pate-fermentee-recipe>.
221. Глудкин О. П. Всеобщее управление качеством/ О. П. Глудкина. – М. : Радио и связь, 1999. – 600 с.
222. Седюкин В. К. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции/ В. К. Седюкин, В. Д. Дурнев, В. Г. Лебедев. – М.: ИИД «Филинь», Рилант, 2000. – 328 с.
223. Лобачова Н. Л. Обґрунтування режимів тістоведення в технології безглютенового хліба/ Н. Л. Лобачова, О. М. Шаніна // Нові ідеї в харчовій науці –

нові продукти харчовій промисловості: міжнар. наук. конф., 13 – 17 жовтня 2014 р. – К: НУХТ, 2014. – С. 77.

224. Шаніна О. М. Поліпшення якості безглютенового хліба за допомогою білкових добавок та трансглютамінази/ О. М. Шаніна, Н. Л. Лобачова // Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека: міжнар. наук.-практ. Конф., 22-23 травня 2014 р. - К: НУХТ, 2014. – С. 122.

Додатки

Додаток 1

Результати оптимізації режимів тістоприготування

Фактори				Рівні факторів				Інтервал	Кодировка				
				-1	0	1							
X1 Температура, Т				35	40	45		5	X1=T-38/5				
X2 Вологість, В				46	48	50		2	X2=B-48/2				
X3 Тривалість бродіння, ТБ				30	60	90		30	X3=ТБ-120/30				
№ точ-ки	X0	X1	X2	X3	X12	X13	X23	X123	Y1	Y2	Y3	Уср	Sj2
1	+	-	-	-	+	+	+	-	295	297	298	297	2
2	+	+	-	-	-	-	+	+	322	326	330	326	16
3	+	-	+	-	-	+	-	+	325	330	336	330	30
4	+	+	+	-	+	-	-	-	345	340	335	340	25
5	+	-	-	+	+	-	-	+	310	313	3,5	209	31624
6	+	+	-	+	-	+	-	+	330	336	343	336	42
7	+	-	+	+	-	-	+	+	305	315	317	312	41
8	+	+	+	+	+	+	+	+	320	300	310	310	100
											Уср дослід		307,562 5
											Sj2 дослід		3985,115

Sj	63,1 3
----	-----------

Відтворюваність дослідів за критерієм Кохрена

G дослід	0,04	G _{оп} <G _{крит}
G критерій	0,8	

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + B_{123}X_1X_2X_3$$

Коефіцієнти

B0	307,56
B1	20,52
B2	15,60
B3	-15,69
B12	-18,69
B13	10,77
B23	3,69
B123	148,40
B1	102,60
B2	31,21
B3	-313,75

Значимість коефіцієнтів

$\Delta B_i \leq B_i$	Коефіцієнт значимий
$\Delta B_i \geq B_i$	Коефіцієнт не значимий

ΔB_i	12,89
--------------	-------

Sb1	1,5
Sb2	0,6
Sb3	6

K1	-0,33	0,22
K2	-0,10	0,1
k3	1,00	-1
S1	0,33	
S2	0,06	

Додаток 2

Результати оптимізації режимів тістоприготування з додаванням желатину і трансглютамінази

Фактори	Рівні факторів			Інтервал	Кодировка
	-1	0	1		
X1 Температура, Т	35	40	45	5	X1=T-38/5
X2 Вологість, В	46	48	50	2	X2=B-48/2
X3 Тривалість бродіння, ТБ	40	60	80	20	X3=ТБ-120/30

№ Точки	X0	X1	X2	X3	X12	X13	X23	X123	Y1	Y2	Y3	Уср	Sj2
1	+	-	-	-	+	+	+	-	295	305	305	302	33
2	+	+	-	-	-	-	+	+	322	330	330	327	21
3	+	-	+	-	-	+	-	+	335	330	336	334	10
4	+	+	+	-	+	-	-	-	345	340	340	342	8
5	+	-	-	+	+	-	-	+	310	313	300	308	46
6	+	+	-	+	-	+	-	+	333	336	343	337	26
7	+	-	+	+	-	-	+	+	310	315	317	314	13
8	+	+	+	+	+	+	+	+	305	300	310	305	25
Уср дослідів												321,042	
Sj2 дослідів													23
Sj	4,796												

Відтворюваність дослідів за критерієм Кохрена

G дослідів	6,95	G _{оп} < G _{крит}
G критерій	0,80	

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + B_{123}X_1X_2X_3$$

Коефіцієнти

B0	321,04
B1	6,79
B2	2,54
B3	-5,04
B12	-7,04
B13	-1,63
B23	-9,04
B123	160,21
B1	33,96
B2	5,08
B3	-100,83
K1	-0,34
K2	-0,05
k3	1,00
S1	0,51
S2	0,03

Значимість коефіцієнтів

$\Delta B_i \leq B_i$	Коефіцієнт значимий
$\Delta B_i \geq B_i$	Коефіцієнт не значимий

ΔB_i	0,98
--------------	------

Sb1	1,5
Sb2	0,6
Sb3	6

0,34
0,05
-1



**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА САНІТАРНО-ЕПІДЕМІОЛОГІЧНА СЛУЖБА**

ДЕРЖАВНА САНІТАРНО-ЕПІДЕМІОЛОГІЧНА
СЛУЖБА УКРАЇНИ
(назва установи)
вул.Грушевського, 7, м.Київ, 01601
(місцезнаходження)
253-94-84, 559-29-88

ЗАТВЕРДЖУЮ



О.П. Кравчук

Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи

від 03.08. 2014р.

№ 05.03.02-06/ 43369

Технічні умови ТУ У 10.7-04718013-007:2014 "Вироби хлібобулочні аглютенів з використанням трансглютамінази і тваринних білків"

(об'єкта експертизи, виготовлений у відповідності ТУ, ДСТУ, ГОСТ)

код за ДКПП: 210.71.11-00.10

(код за ДКПП, артикул)

харчова промисловість

(сфера застосування та реалізації об'єкта експертизи)

Сумський національний аграрний університет, Україна, 40021, м.Суми, вул.Герасима Кондратьєва, 160, тел.: 0542 787456, код ЄДРПОУ: 04718013

(країна, розробник, адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)

Сумський національний аграрний університет, Україна, 40021, м.Суми, вул.Герасима Кондратьєва, 160, тел.: 0542 787456, код ЄДРПОУ: 04718013

(завивник експертизи, адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)

За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи Технічні умови ТУ У 10.7-04718013-007:2014 "Вироби хлібобулочні аглютенів з використанням трансглютамінази і тваринних білків" відповідає вимогам діючого санітарного законодавства України і може бути погоджений (затверджений)

Висновок дійсний до: на термін дії технічних умов ТУ У 10.7-04718013-007:2014 "Вироби хлібобулочні аглютенів з використанням трансглютамінази і тваринних білків"

При внесенні змін до нормативного документа щодо сфери застосування, умов застосування об'єкта експертизи даний висновок втрачає силу.

Комісія ДЗ "Український центр з контролю та моніторингу захворювань МОЗ України" в особливо складних випадках при Головному державному санітарному лікарі України

04071, м.Київ, вул.Ярославська, 41, тел.: (044)
425-43-54, 425-69-16; ф.417-37-75

(найменування, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)

Протокол експертизи

№ 03.4/192 від 02.07.2014р.

(№ протоколу, дата його затвердження)

Керівник установи, закладу ДЗ "УЦКМЗ МОЗ"
(голова експертної комісії)

Л.С.Некрасова

ДОДАТОК 4

**ІНФОРМАЦІЙНІ ДАНІ ПРО ХАРЧОВУ ТА ЕНЕРГЕТИЧНУ
ЦІННІСТЬ 100Г ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ АГЛЮТЕНОВИХ**

Найменування виробів	Харчова цінність			Енергетична цінність	
	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Ккал	кДж
Хліб «Гурман»	6,9	3,0	45,5	236,6	989,0
Хлібець «Расти большой»	7,0	2,0	47,1	234,4	979,8
Булочка «Псельська»	6,0	1,9	45,2	221,9	927,5
Булочка «Тополя»	12,1	2,9	50,4	276,1	1154,0

ДОДАТОК 5

Рецептури нових безглютенових хлібобулочних виробів

Найменування сировини	Витрати сировини на 100 кг борошна, кг			
	Хліб «Гурман»	Хлібець «Расти большой»	Булочка «Псельська»	Булочка «Тополя»
Борошно кукурудзяне	70,0	50,0	30,0	50,0
Борошно рисове	30,0	50,0	70,0	50,0
Дріжджі хлібопек.прес.	1,5	2,5	1,5	2,5
Сіль поварена харчова	1,5	1,5	1,0	1,0
Цукор білий кристалічний	5,0	6,0	15,0	15,0
Желатин	2,0	-	-	2,0
або «Геліос-11»***	1,0	-	-	1,0
Фермент «REVADA TG»	0,07	0,06	0,06	0,06
Меланж	4,0	4,0	8,0	-
Маргарин	3,0	3,0	-	-
Олія соняшникова	3,0	0,1	3,0	3,0
Кмин	1,0	-		
Часник		1,0	-	-
Сироватка молочна	-	15,0	15,0	-
Молоко сухе			-	20,0
Цукрова пудра	-	-	2,0	-
Ваніль			3,0	-

*** - Геліос-11 або Сканпро Т95

ДОДАТОК 6

Режими приготування тіста для безглютенових хлібобулочних виробів

Режими приготування тіста	Хліб «Гурман»	Хлібці «Раста- ти большой»	Булочка «Псельська»	Булочка «Тополь»
Вологість, %	51,0	51,0	44,0	43,0
Початкова температура, °C	35-40	35-40	35-40	35-40
Тривалість бродіння, хв	30-40	35-45	40-50	45-60
Кислотність кінцева тіста, град, не більше	2,5	3,0	4,0	3,0

Наукове видання

Лобачова Надія Леонідівна

**УДОСКОНАЛЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ**

Монографія

Підписано до друку: р. Зам.№

Формат 60х84/16. Гарнітура Times.

Обл. вид. арк. Ум. друк. арк.

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач

Сумський національний аграрний університет

м.Суми, вул. Г. Кондратьєва, 160

тел. 0542 222 448, e-mail: admin@sau.sumy.ua

свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 832 від 28.02.2002р.

**Сумський
національний
аграрний університет, 2015**