

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СОРОЧИНСЬКА ЮЛІЯ СЕРГІЇВНА



УДК 664.665

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛІБА
З ВИКОРИСТАННЯМ БОРОШНА З ЗЕРНА СОРГО**

05.18.01 – Технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських
виробів та харчових концентратів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН України
Дробот Віра Іванівна,
Національний університет харчових технологій,
професор кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шаніна Ольга Миколаївна,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка,
професор кафедри технологій переробних і харчових виробництв,

кандидат технічних наук, професор
Самохвалова Ольга Володимирівна,
Харківський державний університет харчування та торгівлі, завідувач кафедри технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів.

Захист дисертації відбудеться «26» квітня 2021 року о 14-00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.06 Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м. Київ, вул. Володимирська, 68

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий « 26 » березня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради, д.т.н.



Ю.В. Камбулова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Хлібобулочні вироби є складовою раціону харчування більшості населення світу. Проте за деяких захворювань, що пов'язані з порушенням білкового обміну ці продукти протипоказані. Одним із таких захворювань є целиакія. Целиакія є хронічним захворюванням пов'язаним з непереносимістю глютену – білка пшениці, жита, ячменю та вівса, яке проявляється у хронічному запаленні слизової оболонки тонкого кишечника, що призводить до атрофії, порушення всієї системи травлення та обмінних процесів в організмі. На целиакію хворіє не менше 1,0 % населення земної кулі. Це більше 70 мільйонів, в Україні – діагностовано не менше 450 тис. Поряд з целиакією діагностовано інші захворювання пов'язані з алергією на зернові, що містить глютен. У світі зростає кількість населення, що відмовляється від вживання глютенівмісних продуктів за побоювання проявлення алергії, ожиріння тощо. Єдиним ефективним лікуванням захворювання на целиакію є довічне дотримання безглютенової дієти.

Основною сировиною для виробництва безглютенової продукції є безглютенові крохмалі. Для покращення хімічного складу продукції з крохмалів використовують також борошно безглютенових круп'яних культур, здебільшого рисове та кукурудзяне. Відсутність у цій сировині білків, що утворюють клейковину створює проблему забезпечення якості хлібобулочних виробів з неї за традиційної технології хліба.

Проблемі удосконалення технології безглютенових хлібобулочних виробів присвячена низка робіт вітчизняних та зарубіжних вчених: Дорохович А.М., Дробот В.І., Доценка В.Ф., Кузнецової О.А., Шаніної О.М., Грищенко А.М., Кучерук З.І., Лобачевої Н.Л., Michuki Fucasa (Японія), Aguilar N., Mozeizor R., Elka K. Azendt (Швейцарія) та інш.

Проводяться дослідження направлені на розширення сировинної бази в технології безглютенового хліба, компонування рецептур з використанням безглютенової сировини і структуроутворювачів для моделювання реологічних властивостей безглютенового тіста, що забезпечує якість хлібобулочних виробів.

За кордоном до рецептури безглютенових виробів включають соргове борошно, що має кращий хімічний склад порівняно з іншими видами безглютенового борошна, в якості структуроутворювачів використовують камеді у поєднанні з гідроксипропілметилцелюлозою. В Україні практики використання цієї сировини немає. Важливою є проблема збагачення безглютенових виробів на основі крохмалю безглютеновим білком, харчовими волокнами, вітамінами та мінеральними речовинами. В Україні ринок безглютенових виробів формується в основному за рахунок продукції іноземного виробника. Незначна кількість цієї продукції виготовляється домашнім хлібопеченням. Тому дослідження щодо удосконалення технології безглютенового хліба за використання соргового борошна з вітчизняного зернового сорго, розроблення композицій структуроутворювачів, що беруть участь у формуванні структури тіста та використання сировини здатної

збагатити безглютенові вироби білком, харчовими волокнами та мінеральними речовинами є актуальними.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконані відповідно до тематики науково-дослідної роботи кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів «Розроблення інноваційних технологій традиційних та спеціальних хлібобулочних виробів» (Державний реєстраційний № 0116008128), яка координується з науковим напрямком НУХТ «Розроблення сучасних енерго та ресурсощадних технологій та нанотехнологій для виробництва якісних і безпечних харчових продуктів».

Особиста участь автора полягає у проведенні експериментальних досліджень, теоретичному обґрунтуванні результатів досліджень, розробленні нормативних документів, підготовці матеріалів до публікацій.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є удосконалення технології безглютенових виробів з використанням борошна з зерна сорго.

- Дослідити хімічний склад і хлібопекарські властивості соргового борошна з зерна сорго вітчизняного виробництва;
- провести порівняльну оцінку ефективності використання структуроутворювачів різної природи за її впливом на формування структурно-механічних властивостей тіста та якості безглютенового хліба;
- визначити та оптимізувати вміст соргового борошна у крохмале-сорговій суміші, кількість структуроутворювача та вологість тіста, що забезпечують належну якість безглютенового хліба;
- визначити технологічні заходи що забезпечують належну якість безглютенового хліба з крохмале-соргової суміші;
- визначити технологічну ефективність внесення до рецептури хліба з крохмале-соргової суміші цукру, жиру та глюкозно-фруктозного сиропу;
- обґрунтувати доцільність збагачення хліба з крохмале-соргової суміші молочним білком казеїном;
- дослідити доцільність використання шроту з ядер насіння гарбуза для збагачення виробів з крохмале-соргової суміші складовими цієї сировини та встановити вплив шроту з ядер насіння гарбуза на технологічний процес та якість хліба;
- встановити вплив цитратів Са і Mg на перебіг технологічного процесу та якість виробів з крохмале-соргової суміші;
- розробити та затвердити нормативну документацію на нові види виробів, збагачених фізіологічно-активними інгредієнтами, провести виробничу апробацію розроблених безглютенових виробів;
- визначити вплив збагачуючої сировини на споживчі властивості розроблених виробів;
- визначити харчову цінність розроблених безглютенових виробів та засвоюваність білків цих виробів;

- визначити економічну та соціальну ефективність впровадження розроблених виробів у виробництво.

Об'єкт дослідження – технологія безглютенових хлібобулочних виробів.

Предмет дослідження – безглютенові хлібобулочні вироби на основі крохмале-соргової суміші з структуроутворювачами, казеїном, молочною сироваткою, шротом з ядер насіння гарбуза, цитрати Ca та Mg, їхній хімічний склад, технологічні властивості та якість виробів за використання цієї сировини.

Методи досліджень – органолептичні, хімічні і фізико-хімічні, мікробіологічні та біохімічні з використанням сучасних приладів та інформаційних технологій і математичні методи планування експерименту та оброблення експериментальних даних з використанням комп'ютерних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Вперше теоретично та експериментально обґрунтовано удосконалення технології безглютенових виробів шляхом використання соргового борошна вітчизняного виробництва в суміші з кукурудзяним і картопляними крохмалю у співвідношенні 60:10:30 та сировиною, що містить фізіологічно активні речовини : міцелярним казеїном, молочною сироваткою, шротом з ядер насіння гарбуза та цитратами Ca і Mg, що забезпечує підвищення споживчих властивостей та харчової цінності хліба;
- вперше на основі порівняльної оцінки ефективності застосування структуроутворювачів різної природи встановлено доцільність використання суміші камеди гуару і ГПРЦ у співвідношенні 60:40 за приготування тіста з крохмале-соргової суміші, що забезпечує формування необхідної структури тіста та якості хліба;
- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено закономірності перебігу мікробіологічних, біохімічних та колоїдних процесів у тістовій системі з крохмале-соргової суміші, збагаченої казеїном, шротом насіння гарбуза, молочної сироватки та цитратів Ca і Mg;
- встановлено інтенсифікацію процесів спиртового та молочнокислого бродіння, закономірності змін структурно-механічних властивостей тіста, обґрунтовано параметри та безопарний спосіб приготування тіста без бродіння;
- термографічним аналізом доведено збільшення вмісту частки зв'язаної води у м'якшці хліба з крохмале-соргової суміші, збагаченої казеїном та шротом ядер насіння гарбуза, що зумовлює зменшення ретроградації крохмалю і уповільнює черствіння безглютенового хліба;
- доведено, що збагачення безглютенового хліба з крохмале-соргової суміші складовими казеїну, шроту насіння гарбуза, молочної

сироватки та цитратів Ca і Mg зумовлює покращення перетравлюваності білків хліба на пепсиновій і трипсиновій стадіях внаслідок легкої піддатливості білків цієї сировини ферментативному гідролізу.

Практичне значення одержаних результатів. На основі результатів досліджень удосконалено технологію безглютенових хлібобулочних виробів шляхом використання соргового борошна та включення до їх рецептури молочної сироватки, казеїну, шроту з ядер насіння гарбуза та цитратів Ca і Mg з метою підвищення харчової та фізіологічної цінності. Розроблено та затверджено в установленому порядку нормативну документацію на безглютенові вироби: «Хліб крохмале-сорговий з молочною сироваткою», «Хліб крохмале-сорговий молочний», «Хліб крохмале-сорговий гарбузовий».

Особистий внесок здобувача полягає у аналізі стану проблеми, плануванні та проведенні експериментальних досліджень у лабораторних та виробничих умовах, аналізі та обробленні результатів досліджень, формуванні висновків, підготовці матеріалів до публікацій, розробці нормативної документації на нові вироби, апробації удосконаленої технології у виробничих умовах. Аналіз і узагальнення результатів досліджень проведено спільно з науковим керівником д.т.н., проф. член-кор. НААН України Дробот В.І.

Апробація результатів дисертації. Основні положення результатів досліджень доповідались на Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи виготовлення безглютенових хлібобулочних виробів в Україні» (м. Київ, 2015, Міжнародних наукових конференціях молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2016, 2019 рр.), III Міжнародній науково-практичній конференції «Продовольчі ресурси: проблеми та перспективи (м. Київ, 2015 р.), 8-му Центральноєвропейському конгресі з харчової науки CEFood-2016 (м. Київ, 2016 р.), VII Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Харчові добавки». «Харчування здорової та хворої людини» (м. Кривий Ріг, 2016 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Технологічні аспекти підвищення конкурентоспроможності хліба і хлібобулочних виробів (м. Київ, 2016 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Технології харчових продуктів і комбікормів» (м. Одеса, 2017 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми та сучасні технології виробництва продуктів харчування» (м. Кутаїсі, 2020 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 20 друкованих праць: 9 статей (5 – у фахових виданнях з технічних наук, 2 – у міжнародних виданнях, у т.ч. 1 - у країні Європейського союзу (Німеччина), 2 – у інших періодичних виданнях), 1 патент України на корисну модель, 1 патент України на винахід, 9 тез матеріалів конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних літературних джерел із 221

найменувань і додатків. Роботу викладено на 172 сторінках основного тексту, містить 51 таблицю, 24 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету та завдання досліджень, охарактеризовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Наведено відомості про особистий внесок автора, апробацію та опублікування результатів, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі «Проблеми виробництва безглютенових виробів» проведено огляд літератури за темою дисертації. Охарактеризовано проблему захворювання на целиацію та значення дієтотерапії в його профілактиці та лікуванні. Обґрунтовано необхідність підвищення фізіологічної цінності безглютенових хлібобулочних виробів. Проаналізовано використання безглютенової сировини в технології аглютенових виробів, встановлено доцільність використання соргового борошна з метою збагачення виробів функціональними інгредієнтами та його вплив на технологічний процес і якість готових виробів.

У другому розділі «Характеристика сировини та методів дослідження» наведено характеристику сировини, яку використовували в роботі: соргового борошна, кукурудзяного крохмалю, картопляного крохмалю, камеді гуару, гідроксипропілметилцелюлози, молочної сироватки, цитратів кальцію, магнію, шроту з ядер насіння гарбуза, казеїну міцелярного ТМ «Ingredia», олії кукурудзяної.

Підібрано методики для визначення хімічного складу та показників якості сировини, напівфабрикатів, готової продукції. Масову частку вологи визначали за ГОСТ 9404–88; кислотність – за ГОСТ 27493–87; крупність – за допомогою лабораторного розсіву згідно з ГОСТ 27560–87; масову частку клейковини та її якість – за ДСТУ ISO 21415–1:2009; масову частку білкових речовин – методом К'ельдаля; склад окремих амінокислот – методом іонообмінної рідинної хроматографії на автоматизованому аналізаторі амінокислот ТТТ339 (Чехія); вміст жиру – методом Сокслета; вміст лактози йодометричним методом; вміст харчових волокон – за ГОСТ Р 54014–2010; ВПЗ – методом центрифугування.

Масову частку вологи напівфабрикатів визначили на приладі ОВТ-1, газоутворювальну здатність – на приладі АГ–1М, газоутримувальну здатність – за зміною питомого об'єму тіста в циліндрі протягом бродіння. Титровану кислотність контролювали після замішування і в кінці бродіння, активну кислотність – електрометричним методом на приладі рН-150м.

В'язкість водно-борошняної суспензії визначали на амілографі «Brabender» (Швеція). В'язко-пластичні властивості тіста оцінювали за ступенем розпливання кульки тіста протягом 3 год при температурі 30°C та за допомогою ротаційного віскозиметра «Реотест-2», готуючи модельні зразки відповідно до методики.

Перебіг біохімічних процесів у тісті визначали за кінетикою накопичення цукрів у ньому прискореним йодометричним методом, за вмістом летких кислот – напівмікрометодом ВНІХП, за фракційним складом білкових речовин за ступенем дезагрегації білків, за титрованою і активною кислотністю.

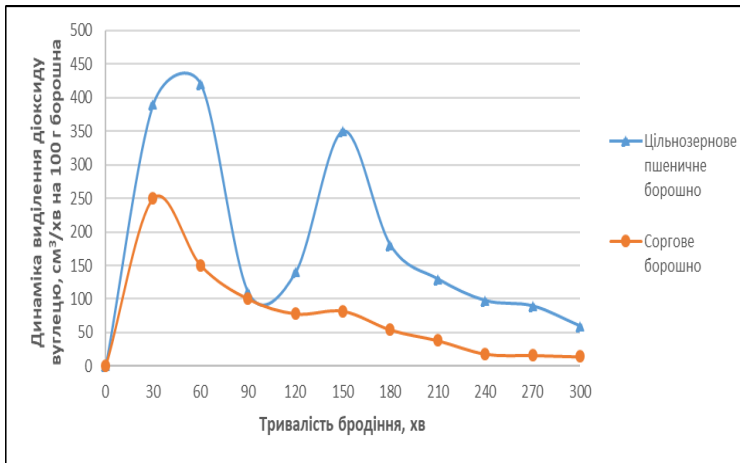
Фізико-хімічні показники якості готових виробів – за ДСТУ 7045:2009. Ступінь свіжості хліба оцінювали вимірюванням деформації м'якушки на автоматизованому пенетрометрі АП–4/1, за крихтуватістю та ВПЗ м'якушки. Аромат хліба оцінювали за кількістю бісульфітзв'язуючих сполук методом Токаревої Р.Р. та Кретовича В.Л. Перетравлюваність білкових речовин досліджували за інтенсивністю їх гідролізу пепсином і трипсином *in vitro* за модифікованою методикою Покровського та Єртанова. Перетравлюваність вуглеводів досліджували *in vitro* за методом, що ґрунтується на визначенні кількості редукувальних цукрів, які накопичуються в процесі гідролізу м'якушки хліба під дією ферментів ШКТ. Дослідження форм зв'язку вологи у м'якушці хліба під час його зберігання проводили термогравіметричним методом на дериватографі Q–1500. Аналіз дериватограм здійснювали за методикою Литвиненко А.М.

Харчову та біологічну цінність готових виробів розраховували виходячи з хімічного складу сировини.

У третьому розділі «Хімічний склад, технологічні властивості соргового борошна та його вплив на технологічний процес» наведено результати досліджень хімічного складу і технологічних властивостей соргового борошна. Встановлено, що соргове борошно переважає рисове та кукурудзяне за вмістом білка на 46 та 50 %, жирів у 5 та 2 рази відповідно.

Основною складовою соргового борошна є вуглеводи. Проте крохмалю в ньому менше порівняно з рисовим та кукурудзяним борошном в середньому на 19,2 та 9,5 %, харчових волокон більше у 2,5 рази, моно та дицукрів більше порівняно з рисовим борошном в 2,7 рази, а з кукурудзяним – в 1,5 рази %. Містить значну кількість вітамінів, особливо пантатенової кислоти, фолацину та токоферолу. Це борошно містить поліненасичених жирних кислот майже на рівні рисового і на 12,2 % більше ніж кукурудзяне, білки цього борошна мають кращий амінокислотний склад. Доведено, що соргове борошно має кращий жирнокислотний склад. У ньому порівняно з рисовим та кукурудзяним міститься менше насичених жирних кислот порівняно з кукурудзяним на 6,9 %, а з рисовим на 6,6 %. Це борошно містить поліненасичених жирних кислот майже на рівні рисового і на 12,24 % більше ніж кукурудзяне. Співвідношення НЖК:ПНЖК:МНЖК складає 11,2:49,9:38,9 за оптимального 33,5:33:33,5. Це свідчить про здатність обраної сировини збагатити хімічний склад безглютенових виробів.

З метою визначення впливу соргового борошна на якість виробів досліджували хлібопекарські властивості соргового борошна. Встановлено, що соргове борошно має крупність близьку до цільнозернового пшеничного борошна, що вплине на його водопоглинальну здатність та є передумовою для підвищення вологості тіста за його використання. Проведеними



Рисунк 1 Динаміка газотворення різних видів борошна: 1 – цілнозернове пшеничне борошно, 2 – соргове борошно

дослідженнями встановлено (табл.1), що за станом вуглеводно-амілазного комплексу соргове борошно порівняно з пшеничним містить менше власних цукрів, має нижчу цукроутворювальну здатність та автолітичну активність за автолітичною пробою, та на 75 % більше число падіння, низьке значення цих показників обумовлює низьку газотворювальну здатність цілнозернового соргового борошна порівняно з пшеничним.

Таблиця 1 - Характеристика вуглеводно-амілазного комплексу соргового борошна

n=3, p≥0,95

Показники	Борошно цілнозернове	
	Пшеничне	Соргове
Вміст моно та дицукрів, % на 100 г борошна	4,0	1,9
Цукроутворювальна здатність, мг мальтози на 10 г борошна	311	129
Автолітична активність, % водорозчинних речовин на СР борошна	30	22
Автолітична активність за числом падіння, с	270	415
Газотворювальна здатність CO ₂ на 100 г борошна за 5 год бродіння	1650	840
Кислотність, град	4,5	4,0

Графік динаміки виділення діоксиду вуглецю (рис.1) свідчить, що перший пік газотворення в тісті з сорговим борошном спостерігається через 30-35 хв бродіння, тоді як пшеничного – через 60 хв. На 60 хв. бродіння кількість виділеного діоксиду вуглецю у тісті з соргового борошна різко знижується і продовжує зменшуватись до кінця бродіння, тоді як у пшеничного борошна після зниження виділення CO₂ на 120 хв на 180 хв спостерігається другий пік газотворення. З метою з'ясування причин низької цукроутворювальної здатності соргового борошна досліджували активність його амілолітичних ферментів. Результати досліджень представлено в табл. 2. Встановлено, що амілолітичні ферменти соргового борошна менш активні, ніж пшеничного причиною чого є погана піддатливість крохмалю цього борошна амілолізу.

Таблиця 2 - Амілолітична активність, мг мальтози зі 100 мг борошна
n=3, p≥0,95

Субстрат	Витяжка ферментів			
	зі пшеничного борошна		зі соргового борошна	
	α-амілаза	β-амілаза	α-амілаза	β-амілаза
Водорозчинний амілолізний крохаль	0,38	18,9	0,21	0,65
Сорговий крохмаль	0,21	9,6	0,13	0,35

Аналіз амілограм свідчить, що крохмаль соргового борошна починає клейстеризуватись пізніше, ніж пшеничний і за вищої температури утворює систему з більшою в'язкістю. Це очевидно пов'язано з розмірами крохмальних зерен, які в сорговому борошні менші та щільніше упаковані в порівнянні з іншими видами борошна (рис.2). Встановлено, що наявність великої кількості водорозчинних білків та активних протеолітичних ферментів має сприяти покращенню живильного середовища для мікрофлори тіста за використання соргового борошна у суміші з крохмалю. Дослідженнями по розробці складу структуроутворювача для виготовлення хліба з безглютенової сировини за співвідношення камеді гуару і ГПМЦ 60:40. Визначенням впливу комплексного структуроутворювача на в'язкість тіста за допомогою ротаційного віскозиметра «Реотест2» встановлено, що за збільшення кількості ГПМЦ в суміші структуроутворювачів зростає в'язкість системи. Це спостерігається як після замішування так і після його ферментації, що є наслідком збільшення водопоглинальної здатності системи.

Наступним кроком досліджень було визначення впливу соргового борошна за його використання в суміші з крохмалю на технологічний процес і якість хліба (табл.3). Встановлено, що питомий об'єм хліба в разі заміни 20 % і 30 % крохмалю сорговим борошном сорго незначно – на 1,1 – 3,0 % поступався контролю. При заміні 40 % і 50 % крохмалю був меншим на 6,2 – 8,7 %, а пористість – на 3,0 – 5,0 %. Всі зразки з вмістом борошна сорго порівняно з контролем швидше черствіли, про це свідчить збільшення кришкуватості м'якушки при зберіганні. На основі проведених досліджень встановлено, що доцільно використання соргового борошна в кількості 30 % в суміші з кукурудзяним крохмалю (60%) і картопляним крохмалю (10%).

Таблиця 3 - Показники якості хліба з суміші крохмалів і борошна сорго

Показник	З суміші крохмалів	Співвідношення кукурудзяного та картопляного крохмалів і борошна сорго			
		70:10:20	60:10:30	50:10:40	40:10:50
Питомий об'єм хліба, см ³ /100г	342±2	338±2	336±2	333±2	330±2
Пористість хліба, %	73±1	72±1	71±1	70±1	68±1
Кришкуватість через 24 год, %	2,8	3,2	3,5	3,8	4,5

Методом експериментально-статистичного моделювання підтверджено оптимальну кількість борошна сорго та структуроутворювача в рецептурі тіста та вологості тіста. В результаті опрацювання експериментальних даних одержали рівняння регресії:

$$Y_1 = 6,6991 - 0,0263 \times X_1 + 0,6626 \times X_2 + 0,0532 \times X_3$$

Результати оптимізації показали, що оптимальний питомий об'єм хліба 3,3 см³/г досягається при таких координатах оптимуму: X₁ (кількість борошна сорго) - 30,0 % до маси крохмале – соргової суміші; X₂ (кількість структуроутворювача) – 1,0 % до маси крохмале – соргової суміші; X₃ (масова частка води тіста) – 52 %.

У четвертому розділі «Визначення перебігу основних процесів у тісті з крохмале-соргової суміші» встановлено, що у зразках з сорговим борошном міститься тим більше цукрів та летких кислот, чим більший вміст соргового борошна в суміші, очевидно за рахунок власних цукрів соргового борошна та активації ферментативного гідролізу його складових. Доведено, що в тісті з крохмале-соргової суміші, як і в тісті з крохмалю спостерігається тільки один пік газоутворення, це свідчить про низьку активність амілолітичних ферментів борошна в наслідок утворення комплексів складових крохмале-соргової суміші і структуроутворювачів. Встановлено, що зі збільшенням вмісту соргового борошна в суміші з крохмалю процес початку клейстеризації починається пізніше на 1,5-3,5 хв, зменшується температура клейстеризації на 4,9° С, уповільнюється утворення в'язкої системи та її максимальна в'язкість на 5-12 %, що пов'язано зі зменшенням вмісту крохмалів в суміші.

В'язкість системи визначали на амілографі фірми Brabender, результатами амілолізу наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 - Показники амілограм

Водно-борошняні суспензії	Час до початку клейстеризації, хв	Температура початку клейстеризації (утворення в'язкої системи)	Максимальна в'язкість, од.пр
З крохмалів	5,2	58,2	340
З вмістом борошна сорго, % в суміші			
20	6,0	55	315
30	7,5	52	285
40	8,5	50,5	260

Це пояснюється тим, що крохмаль суміші швидше поглинає воду ніж складові соргового борошна. Що обумовлює зменшення в'язкості системи, і позначається на формуванні структури м'якушки хліба і збільшенні її кришкуватості. Під час визначення структурно-механічних властивостей тіста встановлено, що зі збільшенням вмісту в суміші соргового борошна, розпливання кульки зменшується. Так, за вмісту в суміші 20 % соргового

борошна через 2 год ферментації діаметр кульки з цієї суміші був менший на 12 %, а з 40 % сорговго борошна – на 24 %, що свідчить про загущення тіста внаслідок збільшення його в'язкості. Цим можна пояснити покращення формостійкості виробів з вмістом соргового борошна.

У п'ятому розділі «Технологічні заходи, що покращують якість безглютенового хліба та підвищують його харчову цінність». Підтверджено дані літературних джерел, щодо обґрунтування застосування безопарного способу без бродіння для приготування тіста з суміші крохмалів і борошна круп'яних культур – соргового. Доведено, що оптимальною вологістю цього тіста є 51 – 52 %.

З метою інтенсифікації бродіння тіста та покращення набухання складових борошна вносили молочну сироватку кислу. Встановлено (табл.5), що за додавання в тісто сироватки початкова кислотність тіста підвищується на 0,1 – 0,3 град, кінцева – на 0,2 – 0,7 град порівняно з контролем за рахунок кислот внесених з сироваткою. Поряд з підвищенням газоутворення спостерігається деяке збільшення питомого об'єму тіста, що свідчить про покращення газотримувальної здатності. Внаслідок інтенсифікації колоїдних процесів зростає в'язкість тіста, збільшується його газотримувальна здатність. Про це свідчить зменшення розпливання кульки тіста, що містить сироватку. Вироби мали приємний молочний смак та аромат. Це свідчить про доцільність включення до рецептури безглютенового хліба з крохмале-соргової суміші 10 % молочної сироватки кислої. Така кількість дозволяє поряд з забезпеченням належних показників якості виробів збагатити їх цінними нутрієнтами цього молочного продукту.

Таблиця 5 - Показники технологічного процесу приготування безглютенового тіста з використанням молочної сироватки

Показники	Контроль (без сироватки)	Додано сироватки, %		
		5	10	15
Кислотність, град				
початкова	1,1	1,3	1,5	1,6
кінцева	1,2	1,4	1,7	2,0
Газоутворення за 60 хв бродіння, см ³ /100г	305	319	328	340
Питомий об'єм тіста в кінці вистоювання, см ³ /г	2,16	2,22	2,30	2,33
Розпливання кульки тіста, мм	83	80	78	77

Для збільшення вмісту білка у безглютенових виробах до їх рецептури вносили 8...9 % казеїну. Така кількість цієї добавки забезпечує збільшення вмісту білка у виробах на 11,0...13,0 % покращує його амінокислотний склад. Порівняльний аналіз хімічного складу борошна сорго і казеїну показав, що казеїн містить більше ніж борошно сорго білка у 7 разів, мінеральних речовин – на 38 %, утричі менше цукрів і в 2,2 рази – жирів. У білках казеїну незамінних амінокислот майже вдвічі більше, ніж у білках борошна сорго,

амінокислотний СКОР кожної з них (за винятком фенілаланіну) більший. Результатами пробних випікань встановлено, що за присутності казеїну інтенсивність бродіння в тістовій системі знижується, тривалість вистоювання заготовок подовжується на 2-6 хв, що пов'язано з високою розчинністю казеїну внаслідок якої збільшується осмотичний тиск в рідкій фазі тіста, погіршується доступ живлення до дріжджової мікрофлори, знижується її бродильна активність. Це підтверджується дослідом щодо зниження інтенсивності бродіння тіста у присутності казеїну, і меншим виділенням діоксиду вуглецю за час ферментації тіста на 5...12 %. Поряд зі зниженням газоутворення в тісті зменшується його питомий об'єм на 5...8 %. Проведеними дослідженнями доведено доцільність внесення до рецептури 5-7 % казеїну до маси крохмале-сorghової суміші.

Було проведено визначення використання ШНГ у технології безглютенових виробів з крохмале-сorghової суміші з метою збагачення її фізіологічно активними компонентами. Аналіз хімічного складу борошна сорго та ШНГ показав, що шрот насіння гарбуза містить більше білка в 4,0 рази, харчових волокон – у 5,4 рази, жирів – утричі. Встановлено (табл.5), що тісто з ШНГ, порівняно з контролем, мало менший питомий об'єм на 7...10 %, що, очевидно пов'язано з підвищенням його в'язкості внаслідок більшої водопоглинальної здатності ШНГ (330 %), порівняно зі складовими крохмале-сorghової суміші. Зразки хліба зі ШНГ краще зберігають свіжість. Це підтверджується результатами визначення деформації м'якушки хліба та його кришкуватості. Базуючись на результатах досліджень, можна вважати, що з метою покращення фізіологічної цінності безглютенових хлібобулочних виробів з крохмале-сorghової суміші доцільно включати до їх рецептури 4...6 % шроту насіння гарбуза до маси суміші. Така кількість харчових волокон в хлібі за забезпечує вміст харчових волокон в хлібі за добової норми споживання (277г хліба) і покриває 13,3...25 % добової потреби в цих речовинах.

Таблиця 6 - Показники технологічного процесу та якості виробів з ШНГ

Показники	Контроль	Внесено шроту насіння гарбуза, % до маси крохмале-сorghової суміші		
		4	6	8
Питомий об'єм см ³ /100г	335±5	332±5	328±5	318±5
Деформація м'якушки, од. пенетрометра, через 1 год	66	68	70	69
24 год	54	57	58	62
Збереження свіжості, %	36	39	41	42
Кришкуватість через 24 год.	2,8	2,5	2,4	2,3

У шостому розділі «Споживча та фізіологічна цінність хліба з крохмале-сorghової суміші, збагаченої есенціальними речовинами», На основі проведених досліджень розроблено рецептури та технологічні інструкції для трьох видів виробів (Хліб крохмале-сorghовий з молочною сироваткою, Хліб крохмале-сorghовий молочний, Хліб крохмале-сorghовий гарбузовий». Доведено, що розроблені вироби мають кращі показники якості. Безглютеновий хліб за розробленими рецептурами внаслідок вмісту в ньому казеїну, харчових волокон, сироватки має більш пружну м'якушку та кращі гідрофільні властивості, що свідчить про меншу схильність його до черствіння порівняно з хлібом з крохмалів. Встановлено, що хліб крохмале-сorghовий через 24 год зберігання порівняно з хлібом з крохмалів містить зв'язаної води більше на 4,4 %, соргово-молочний – на 5,8 %, а соргово-гарбузовий на 4,4 %. За наступні 24 год зберігання, тобто через 48 год найменше зв'язаної води втратив хліб крохмале-сorghовий молочний – 3,9 %, тоді як хліб з крохмалів – 5,3 %, хліб крохмале-сorghовий та крохмале-сorghовий гарбузовий витратили 4,6 і 4,2 % відповідно зв'язаної води. Це можна пояснити високою гідрофільністю білків казеїну та складових ШНГ. Проте, зважаючи на значну втрату розробленими виробами свіжості зберігати їх більше 24 год недоцільно.

У крохмале-сorghовому хлібі з сироваткою вміст ароматичних речовин через 4 години після випікання був більший у м'якушці на 15,0 %, у скоринці на 25,0 %. Значно більше бісульфітзв'язуючих речовин визначено у зразках в рецептурі яких міститься казеїн, це хліб «Соргово-молочний», в якому більше цих речовин в м'якушці і скоринці – на 21 % та 33 % відповідно, а також «Соргово-гарбузовий» -на 18,0 % та 29,0 % відповідно. Це обумовлено вмістом білків казеїну та складовими шроту ядер насіння гарбуза.

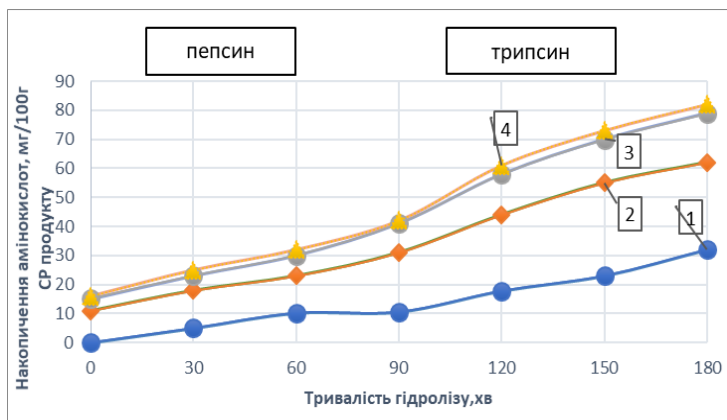


Рисунок 2. Накопичення вільних амінокислот під час гідролізу білків безглютенового хліба *in vitro* 1 – хліб з крохмалів, 2 – хліб крохмале-сorghовий з молочною сироваткою, 3 – хліб крохмале-сorghовий гарбузовий, 4 – хліб крохмале-сorghовий молочний

Дослідженнями *in Vitro* встановлено, що у хлібі з крохмалів накопичення вільних амінокислот як на пепсиновій так і на трипсиновій стадії не значне, що пов'язано з незначним вмістом білків у крохмалях (рис3).

Білок цих виробів краще засвоюється, про це свідчить

висока його перетравлюваність. Вироби з крохмале-сorghової суміші та вироби збагачені казеїном і шротом насіння гарбуза містять незначно більше цукрів за рахунок цукрів соргового борошна та шроту

насіння гарбуза, але значна інтенсифікація ферментативного гідролізу внаслідок перетравлення вуглеводів цих виробів порівняно зі зразком з крохмалів не спостерігається. Розраховували хімічний склад розроблених виробів. Аналіз даних свідчить, що розроблені БГВ вироби мають кращі показники ніж вироби з крохмалів за вмістом білків, жирних кислот та мінеральних речовин, внаслідок збагачення їх борошном сорго, казеїном, ШНГ та цитратами Са та Mg. Відпускна ціна розроблених виробів для «Хліб крохмале-сорговий з молочною сироваткою» становить 16,8грн, «Хліб крохмале-сорговий молочний» становить 25,8грн, «Хліб крохмале-сорговий гарбузовий» 22,2 грн,. Відпускна ціна вища в порівнянні з традиційними виробами, проте досягається соціальний ефект завдяки забезпеченню населення України із захворюванням на целиацію продукцією дієтичного призначення.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу та узагальнення теоретичних даних та експериментальних досліджень, виробничих випробувань, удосконалено технологію безглютенових хлібобулочних виробів з крохмале-сорової суміші збагачених білком казеїну, молочною сироваткою, харчовими волокнами шроту з ядер насіння гарбуза та цитратами Са та Mg. Основні результати проведених досліджень такі:

1. Вперше системно досліджено хімічний склад і хлібопекарські властивості соргового борошна із вітчизняного зерна сорго сорту «Понкі».
2. Встановлено, що за хімічним складом соргове борошно переважає найбільш знані у технології безглютенових виробів рисове та кукурудзяне за вмістом білка на 46 та 50 % відповідно, харчових волокон у 2 рази, а також за вмістом жирів, мінеральних речовин і вітамінів, що свідчить про здатність його в більшій мірі збагатити вироби на основі крохмалів функціональними інгредієнтами. За хлібопекарськими властивостями соргове борошно поступається пшеничному, має низьку цукроутворювальну здатність та автолітичну активність, меншу водопоглинальну здатність.
3. Експериментально встановлено ефективність використання у якості структуроутворювача безглютенового тіста з крохмале-сорової суміші камеді гуару у поєднанні з ГПМЦ у співвідношенні 60:40 в кількості 1,0% до маси суміші. Методом експериментально-статистичного аналізу встановлено доцільність використання соргового борошна у технології безглютенового хліба в суміші з кукурудзяним і картопляним крохмалю за співвідношення 60:10:30 відповідно. Тісто слід готувати вологістю 52%, вносити 1,0% структуроутворювача.
4. Доведено, що тісто з крохмале-сорової суміші доцільно готувати безопарним способом без бродіння за тривалості замішування 10 хв, що сприяє покращенню набухання складових соргового борошна та обумовлює добру якість хліба. З метою інтенсифікації біохімічних, колоїдних процесів в

тісті доцільно використовувати 10% до маси крохмале-соргової суміші молочну сироватку кислу.

5. Встановлено, що покращенню якості виробів з крохмале-соргової суміші сприяє включення до їх рецептури 5,0 % цукру білого та 3,0 % олії кукурудзяної до маси суміші. Це забезпечує інтенсифікацію процесів бродіння тіста та підвищує його газоутримувальну здатність. Доведена можливість заміни цукру глюкозно-фруктозним сиропом у співвідношенні 1:1,4 з метою зниження навантаження на інсуліновий апарат організму.

6. Встановлено, що за використання казеїну, з метою підвищення харчової цінності безглютенового хліба, в тісті збільшується осмотичний тиск, зменшується його в'язкість, погіршується бродильна активність дріжджів, що зумовлює подовження тривалості вистоювання тістових заготовок, зменшення об'єму хліба на 4,8 – 9,2 %. Прийнятна якість хліба забезпечується при використанні 5,0-7,0 % казеїну до маси крохмале – соргової суміші. Це в поєднанні з білком соргового борошна забезпечує 5,4 – 7,6 % білка в 100 г хліба.

7. Обґрунтовано доцільність збагачення виробів білком та харчовими волокнами шляхом використання 4,0 – 6,0 % шроту ядер насіння гарбуза до маси крохмале-соргової суміші. При цьому питомий об'єм виробів зменшується на 5,0 – 7,0 %, поряд з цим покращується стан м'якушки, смакові якості хліба.

8. Встановлено позитивний вплив на перебіг технологічного процесу та споживчі властивості хліба цитратів Ca та Mg за включення цих добавок до рецептури виробів з крохмале-соргової суміші, що є наслідком активізації мікрофлори тіста у присутності цитратів.

9. За результатами досліджень розроблено і затверджено об'єднанням підприємств хлібопекарської промисловості «Укрхлібпром» рецептури і технологічні інструкції на три види безглютенового хліба з підвищеними фізіологічними властивостями: «Хліб крохмале – сорговий з молочною сироваткою», «Хліб крохмале – сорговий молочний», «Хліб крохмале – сорговий гарбузовий». Проведена виробнича апробація розроблених виробів в умовах пекарні «ГОРІНЬ»(Львів) та комерційної пекарні Інституту Продовольчих ресурсів НААН України. Одержано патент України на винахід та патент України на корисну модель.

10. Встановлено, що розроблені вироби дещо краще зберігають свіжість ніж хліб з крохмалів. Про це свідчить більший на 2,4 – 5,8 % вміст у цих виробах міцно зв'язаної вологи (через 4год. зберігання) та менші втрати її при зберіганні. Ці вироби мають краще виражений смак та аромат, містять більше бісульфітзв'язуючих сполук: у скоринці на 12,5 – 13,3 %, у м'якушці – на 11,5-12,1 %.

11. Дослідженнями In Vitro встановлено, що білок розроблених виробів добре засвоюється. Краще засвоюється білок хліба крохмале-соргового молочного та крохмале-соргового гарбузового внаслідок доброї піддатливості білків казеїну та гарбуза гідролізу ферментами шлунково – кишкового тракту – пепсином та трипсином. Методом розрахунку хімічного

складу розроблених виробів встановлено, що в 100 г цих виробів, порівняно з безглютеновими виробами з крохмалів міститься в 3,65 – 10,41 раз більше білків(з 0,62 до 6,50 г), 1,24 – 2,20 г харчових волокон, значну кількість мінеральних речовин і вітамінів. Добова потреба організму в Ca і Mg забезпечуються на 50 % цитратами цих мінералів.

12. Відпускна ціна розроблених виробів масою 0,3 кг становить: Хліб крохмале-сorghовий молочний – 25,8 грн, Хліб крохмале-сorghовий з молочною сироваткою-16,8 грн, Хліб крохмале-сorghовий гарбузовий – 22,2 грн. Відпускна ціна вища в порівнянні з традиційними виробами, проте виробництво розроблених виробів має важливе соціальне значення, оскільки дозволяє забезпечити споживачів з непереносимістю глютену продукцією дієтичного призначення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях

1. Дробот, В. І. Характеристика хімічного складу та технологічних властивостей суцільнозернового борошна сорго / В. І. Дробот, Ю.С. Приходько, Н.І. Белая // Продовольчі ресурси: зб. наук.пр. НААН України. – В.: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. – №8 – С. 115-120.

2. Ефективність використання гідроколоїдів різного походження у технології безглютенового хліба / В. І. Дробот, Ю.С. Приходько, Г.О. Бережна, Н.І. Белая // Продовольчі ресурси: зб. наук.пр. НААН; Ін-т прод. ресурсів НААН. – К.: ТОВ «БАРМИ», 2019. – №12 – 87-93.

3. Дробот, В.І. Борошно сорго у технології безглютенового хліба / В. І. Дробот, Ю.С. Приходько, Г.О. Бережна // Наукові праці національного університету харчових технологій. – К.: НУХТ, 2019. – Т.25, №1 – С. 208-214.

4. Дробот, В.І. Перспектива збагачення хлібобулочних виробів казеїном / В.І. Дробот, Ю.С. Сорочинська, А.М. Грищенко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – К.: НУХТ, 2019. – Т.25, №5 – С. 117-124.

5. Використання шроту насіння гарбуза в технології безглютенового хліба / В. І. Дробот, Ю.С. Сорочинська, Ю.В. Бондаренко, О.І. Ренкас // Харчова промисловість, 2019. – № 26. – С. 6 – 13.

Статті у міжнародних виданнях

6. Дробот В.И., Молочная сыворотка улучшает качество безглютенового хлеба из крохмало-сorghовой смеси / В.И. Дробот, Ю.С. Сорочинская, О.Д. Тесля // Вестник Алматинского технологического университета, 2020. – №2 (127). – С. 8-12. (Казахстан)

7. Shevchenko A, Drobot V, Sorochynska Y. Gluten-free bakery products of high nutritional value / Modern engineering and innovative technologies», 2021. – №15.– P. 112 – 118. (Німеччина, Copernicus, GScholar)

Статті в інших виданнях

8. Приходько, Ю.С. Целіакія та хліб без глютену / Ю.С. Приходько, Н.І. Белая. // Хлебный и кондитерский бизнес, – 2016. - №2. – 38.

9. Сорговая мука – перспективное сырье для производства безглютеновых хлебобулочных изделий / В. И. Дробот, Ю. С. Приходько, О. П. Писарець, О. П. Ижевская // Пекарь & Кондитер, 2019. – № 2 (14) – С. 44-45.

Тези, матеріали конференцій

10. Семенова, А. Б. Проблеми та перспективи виготовлення безглютенових хлібобулочних виробів в Україні / А. Б. Семенова, Ю. С. Приходько, В. І. Дробот // Продовольчі ресурси: проблеми і перспективи : III Міжнародна науково-практична конференція, 4 листопада 2015 р.: зб. наук. праць за матеріалами конф. – Інститут продовольчих ресурсів НААН України. – К. : ННЦ ІАЕ, 2015. – С. 89-91.

11. Приходько, Ю. С. Перспективи використання сорго в технології хлібобулочних виробів / Ю. С. Приходько, В. І. Дробот // Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : матеріали 82 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 13–14 квітня 2016 р. – К.: НУХТ, 2016. – Ч. 1. – 137.

12. Semenova, A. Gluten-free bakery products / A. Semenova, Ju. Prikhodko, V. Drobot // 8th Central European Congress on Food 2016 — Food Science for Well-being (CEFood 2016), 23-26 May 2016 p. : Book of Abstracts. – Kyiv : NUFT, 2016. – 146.

13. Приходько, Ю. С., / Застосування борошна сорго в технології безглютенових хлібобулочних виробів / Ю.С. Приходько, В.М. Кривошей // Технологічні аспекти підвищення конкурентоспроможності хліба і хлібобулочних виробів Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – К.:НУХТ, 2016 – 190.

14. Дробот, В. І., Перспективність використання борошна з зерна сорго в технології хлібопечення / В. І. Дробот, Ю.С. Приходько, Л.І. Удворгелі // Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини: Матеріали VII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 30-31 травня 2016 р., Донецький національний університет економіки та торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, 2016. – 26.

15. Дробот, В. І., Перспективи використання сорго в технології безглютенових хлібобулочних виробів / В. І. Дробот, Ю.С. Приходько // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Технології харчових продуктів та комбікормів», Одеса 25-30 вересня 2017 р. / Одеська нац. акад. харч. технологій. – Одеса: ОНАХТ, 2017. –137.

16. Приходько, Ю.С. Обґрунтування складу рецептурної композиції з борошном сорго для виготовлення безглютенового хліба / Ю.С. Приходько, Г.О. Бережна // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології у хлібопекарському виробництві». – К.:НУХТ, 2018. – 34-36.

17. Сорочинська, Ю., Молочна сироватка кисла покращує якість безглютенового хліба з крохмале-соргової суміші / Ю. Сорочинська, О. Ренкас, К. Дебелинська, В. Дробот // Матеріали 85 Ювілейної Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові

здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті", присвяченої 135-річчю Національного університету харчових технологій, 11–12 квітня 2019 р. – К.: НУХТ, 2019 р. – Ч.1. – 527 с.

18. Хліб безглютеновий: патент на винахід 114989 Україна: A13 D/066, A 13 D / 047 / Семенова А. Б., Бела Н. І., Приходько Ю. С., Писарець О. П.: заявник та власник патенту: ІПР НААН. № у 201606264; заявл. 09. 06. 2016; опубл. 28. 08. 2017, Бюл. №16.

19. Хліб безглютеновий: патент на корисну модель 142991 Україна: A21 D 13/066 / Дробот В.І., Сорочинська Ю.С.: заявник та власник патенту: Національний університет харчових технологій. № у 201911851; заявл. 12.12.2019; опубл.10.07.2020, Бюл. №13/2020.

20. Сорочинская, Ю. С., Дробот В.И., Тесля О. Д. Обогащение безглютеновых хлебобулочных изделий физиологически необходимыми веществами / Ю. С. Сорочинская В. И. Дробот, О. Д. Тесля, // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и современные технологии производства продуктов питания». Сборник трудов/ Государственный университет Акакия Церетели, 20-21 февраля 2020. – 360-366.

АНОТАЦІЯ

Сорочинська Ю.С. Удосконалення технології безглютенового хліба з використанням борошна з зерна сорго. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.01-Технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських виробів та харчових концентратів. Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

Робота присвячена удосконаленню технології безглютенового хліба з використанням борошна з зерна сорго вітчизняної селекції сорту «Понкі» та збагачення його молочною сироваткою, казеїном, шротом з ядер насіння гарбуза та цитратами кальцію і магнію. В якості структуроутворювачів безглютенового тіста використано камедь гуару та гідроксипропілметилцелюлозу.

Досліджено хімічний склад і технологічні властивості соргового борошна з вітчизняного зернового сорго. За результатами пробних випікань обґрунтовано використання крохмале-соргової суміші у складі: крохмаль кукурудзяний 60 %, картопляний 10 %, соргове борошно 30. На основі проведених досліджень розроблено рецептури та технологічні інструкції на нові безглютенові хлібобулочні вироби: «Хліб крохмале-сорговий з молочною сироваткою», «Хліб крохмале-сорговий молочний», «Хліб крохмале-сорговий гарбузовий».

Ключові слова: безглютеновий хліб, крохмалі, соргове борошно, камедь гуару, гідроксипропілметилцелюлоза, молочна сироватка кисла, казеїн, шрот з ядер насіння гарбуза, цитрати металів.

ABSTRACT

Yulia Sorochynska. Improving the technology of gluten-free bread using sorghum flour. - Qualifying scientific work published in manuscript form.

Dissertation to obtain academic degree of candidate of technical sciences with specialty code 05.18.01 - Technology of bakery products, confectionery and food concentrates. National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The aim of this thesis is to improve the technology of gluten-free bread production. Such improvement was attempted by using the domestic selection of sorghum flour (the "Ponki" variety) enriched with whey, casein, meal from pumpkin seed kernels as well as calcium and magnesium citrates. Guar gum and hydroxypropylmethylcellulose were used in the gluten-free dough as structuring agents.

Chemical composition and technological properties of sorghum flour grown domestically in Ukraine have been proven as suitable for gluten free bread production. Trial baking was performed with the use of starch-sorghum mixture of 60% corn starch, 10% potato, 30% sorghum flour. Research has proven the expediency of using a mixture of guar gum and HPMC as a structurant of the dough with the 60:40 ratio of starch-sorghum mixture.

The steamless dough mixing method without fermentation was proven to be the most efficient. It included adding 10% of sour whey relative to the total weight of the starch-sorghum mixture. As gluten-free products from starches contain only about 1% protein and their starch-sorghum counterparts contain 2.4%, it is advised to include 5-7% of mycelial casein relative to the total weight of the starch-sorghum mixture in the formulation. The results of test baking demonstrate the benefits of using meal from pumpkin seed kernels (SHNG) for the purpose of enriching products from starch-sorghum mixture with protein, dietary fiber and other physiologically active substances. Tests also ascertain that calcium and magnesium citrates are possible and desirable additives to the mixture.

Recipes for three new gluten-free bakery products were established based on the findings of this study. They were approved by the Ukrainian association of the baking industry enterprises "Ukrkhlibprom" and registered with titles "Starch-sorghum bread with whey", "Starch-sorghum bread with pumpkin", "Starch-sorghum bread with milk".

These newly developed products have improved shelf life due to the high water absorption capacity of the formulation components, as suggested by the elevated content of tightly bound moisture. Bisulfite binders were detected in the crust and crumb, manifesting in the appealing aroma of the bread. The rate of carbohydrate digestion is not expected to be significantly affected despite the product enrichment with sorghum flour, whey, casein, LPG and citrates of calcium and magnesium.

Experimentally developed products demonstrate improved chemical composition compared to starch products, in particular in terms of content of protein, dietary fiber, minerals and vitamins.

Key words: gluten-free bread, sorghum flour, guar gum, hydroxypropylmethylcellulose, enrichment, whey sour, casein, meal from pumpkin seed kernels, metal citrates.