

На правах рукописи



КОКОРИНА ДАРЬЯ СЕРГЕЕВНА

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ТОВАРОВЕДНАЯ
ОЦЕНКА ОБОГАЩЕННОГО ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА И
БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ ХЛЕБЦЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ МУКИ КИНОА**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена на кафедре товароведения и товарной экспертизы федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», г. Москва

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Елисеева Людмила Геннадьевна

Официальные оппоненты: **Никитин Игорь Алексеевич**,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», заведующий кафедрой биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья

Бегулов Марат Шагабанович,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГБОУ ВО «РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева», доцент кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Защита состоится 23 ноября 2022 г. в 16:00 на заседании диссертационного совета 24.2.372.05 на базе ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова» по адресу: 117997, Москва, Стремянный пер., д. 36, корп. 3, ауд. 353.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в Научно-информационном библиотечном центре им. академика Л.И. Абалкина ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Зацепа, д. 43 и на сайте организации: <http://ords.rea.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор химических наук, профессор

Чалых Татьяна Ивановна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. По данным ВОЗ у каждого третьего человека в мире выявлены серьезные нарушения в структуре питания и установлен недостаток физиологически активных компонентов пищи, что является причиной увеличения количества возникающих алиментарных заболеваний. Мониторинг пищевого статуса в России показал, что структура питания большей части детского и взрослого населения не соответствует принципам здорового питания, выявлен недостаток потребления полноценного белка, незаменимых аминокислот, эссенциальных жирных кислот, целого ряда витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, и минорных биологически активных веществ.

Основные задачи для обеспечения профилактики алиментарных заболеваний были сформулированы в «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г.», в Постановлении Президиума РАН «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки» и др. Основное внимание уделяется разработке и внедрению инновационных технологий глубокой переработки сельскохозяйственного сырья, производству новых видов специализированных и функциональных продуктов питания и развитию нового направления цифровизации в области нутрициологии. На основании анализа пищевого статуса населения России рекомендовано в первую очередь обогащать микро- и макронутриентами продукты массового потребления, регулярно присутствующие в рационе питания всех групп населения, в т.ч. хлебобулочные изделия.

В России объем производства функциональных хлебопродуктов составляет всего 3 % от общего их объема. В этой связи было принято постановление о необходимости увеличения объема их производства до 20 %. Этим обусловлена необходимость диверсификации отечественных сырьевых источников востребованных биологически активных веществ. Перспективным источником белка, незаменимых аминокислот и других функциональных нутриентов, является псевдозерновая культура киноа, семейства амарантовых, важной особенностью которой является отсутствие глютена.

Киноа рассматривается ФАО как важный фактор при решении проблемы продовольственной безопасности в мире. В промышленных масштабах киноа выращивается более чем в 70 странах, в т.ч. и в России и широко используется в рационе питания населения. При производстве функциональных хлебобулочных изделий необходимо учитывать, что более 15 млн человек в России не переносят основной белок злаковых культур – глютен. На международном рынке до 60 % безглютеновых продуктов представлено хлебом и хлебобулочными изделиями. В данной работе представлены результаты проектирования, разработки технологии и оценки потребительских свойств хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа, и безглютеновых хлебцев с заданным уровнем потребительских свойств, нутриенто-адаптированных для здорового питания.

Степень разработанности темы исследования. Важный вклад в развитие научных основ и совершенствование технологии производства обогащенных и специализированных пищевых продуктов, в т.ч. хлебобулочных изделий внесли видные отечественные и зарубежные ученые В.И. Тутельян, В.Б. Спиричев, Г.О. Магомедов, А.П. Нечаев, В.М. Поздняковский, В.В. Мартиросян, В.Я. Черных, С.Я. Корячкина, Т.Б. Цыганова, И.Г. Белявская, Н.М. Дерканосова, К. Gesinski, Y. Hariadi, Peter J. Maughan, H. Storchova, A. Zurita-Silva и другие. Несмотря на имеющиеся разработки, научное обоснование эффективного использования киноа, как источника важнейших макро- и микронутриентов для обогащения пищевых продуктов и сырьевого компонента, не содержащего глютен, для производства безглютеновых специализированных продуктов, не завершено, поэтому требует дальнейшего изучения, что подтверждает актуальность проводимых исследований.

Цель и задачи исследований. Целью работы является научное обоснование выбора наиболее перспективных видов киноа для производства обогащенных хлебопродуктов, проектирование рецептур, совершенствование технологии и оценка потребительских свойств обогащенного хлеба пшеничного и безглютеновых хлебцев нутриенто-адаптированных для здорового питания и предупреждения заболеваний, связанных с реакцией на глютен (аллергической энтеропатии и непереносимости глютена).

Для реализации поставленной цели решались следующие **основные задачи**:

- проведение сравнительной оценки пищевой ценности и потребительских свойств разных видов семян киноа, реализуемых на продовольственном рынке России и научное обоснование выбора перспективного источника для проектирования и производства хлебобулочных изделий с заданным химическим составом;

- определение влияния муки киноа на технологические и структурно-механические свойства теста из пшеничной муки;

- формирование потребительских свойств, микробиологической стабильности, оптимизация рецептуры и обоснование технологических решений для производства пшеничного хлеба обогащенного киноа;

- научное обоснование выбора сырьевых компонентов, моделирование оптимальной рецептуры и пищевой ценности нутриенто-адаптированных безглютеновых хлебцев для профилактики аллергической энтеропатии и непереносимости глютена без целиакии (НГБЦ);

- разработка компьютерной программы для многокритериальной оценки сырьевых ингредиентов и проектирования рецептуры поликомпонентных пищевых продуктов с заданными характеристиками пищевой ценности;

- проведение биотестирования и исследование эффективности хлебобулочных изделий, обогащенных функциональными ингредиентами при исследованиях на лабораторных животных;

- разработка технической документации (ТУ, ТИ, РЦ) на хлеб пшеничный, обогащенный мукой киноа, безглютеновые хлебцы и проведение их опытно-промышленной апробации.

Научная новизна. Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках паспорта специальности 4.3.3. Пищевые системы Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Научно обоснованы и экспериментально подтверждены два направления эффективного использования функциональных макро- и микронутриентов семян киноа, не содержащих клейковину, для проектирования и производства обогащенного хлеба из пшеничной муки и безглютеновых хлебопродуктов с учетом норм физиологических потребностей и медико-биологических требований, предъявляемых к рациону питания больных с непереносимостью глютена.

Получены новые научные данные о физико-химических и технологических свойствах муки киноа. Установлено, что мука киноа обладает низкой активностью α -амилазы, в образцах теста с добавлением муки киноа температура начала клейстеризации крахмала повышается. При этом усиливается дезагрегирующие и гидролитическое действие ферментов муки, снижается вязкость суспензии, увеличивается влагопоглощательная способность теста и сокращается продолжительность тестообразования.

Определено влияние дозы внесения муки киноа, не содержащей клейковину, в состав рецептурной смеси пшеничного хлеба на количество и качество клейковины, структурно-механические и биохимические показатели, характеризующие хлебопекарные свойства муки и научно обоснованы новые технологические решения, позволяющие увеличить дозу внесения муки киноа для обогащения хлеба из пшеничной муки до 20 %.

Выявлена положительная зависимость влагоудерживающей, газообразующей и газоудерживающей способности теста в зависимости от массовой доли муки киноа.

Установлено влияние технологии производства на технологические свойства и продолжительность процесса приготовления теста, на органолептические, структурно-механические и физико-химические показатели качества обогащенного хлеба, что позволило научно обосновать применение новых технологических решений при производстве хлеба.

Получены новые данные о влиянии муки киноа на микробиологическую безопасность хлеба. Выявлена зависимость уровня контаминации пшеничного хлеба микроорганизмами, состава микрофлоры, характеризующей безопасность и содержание спорообразующих бактерий рода *Bacillus*, вызывающих картофельную болезнь хлеба от технологии производства. Доказано, что применение безопасного способа, дополненного процессом молочнокислого брожения, повышает микробиологическую стабильность и устойчивость к заражению хлебной болезнью.

Установлена зависимость показателя «активность воды», характеризующего уровень риска микробиологических повреждений, от технологии производства. Введение в рецептуру хлеба муки киноа приводит к снижению активности воды при использовании всех изучаемых технологий, максимальный эффект достигается в образцах, приготовленных по безопасной технологии с использованием молочнокислой закваски.

Доказано, что обогащение пшеничного хлеба мукой киноа позволяет повысить его пищевую и биологическую ценность за счет увеличения массовой доли белка (почти на 50); компенсации содержания лимитирующих аминокислот (лизина, треонина, метионина+цистеина); увеличения содержания пищевых волокон, магния, фосфора, железа, витаминов В₁, В₂, В₆, что способствует высокой степени удовлетворения суточной потребности в функциональных ингредиентах.

Выявлено, что внесение функциональных макро- и микронутриентов муки киноа, чечевичной муки, семян льна, подсолнечника и льняного масла, в соотношениях, оптимизированных с применением методов математического планирования эксперимента и алгоритма автоматизированного расчета, позволяет получить многокомпонентные безглютеновые хлебцы, сбалансированные по содержанию полноценного белка, соотношению ω -3 и ω -6 жирных кислот, а также обогащенных пищевыми волокнами, комплексом витаминов, минеральных веществ и обеспечивает высокий уровень содержания антиоксидантов, что соответствует требованиям к продуктам для профилактики аллергической энтеропатии и непереносимости глютена без целиакии.

Практическая значимость работы. На основании проведенных исследований:

- разработаны и проверены в производственных условиях рецептуры и технологические решения для производства обогащенного пшеничного хлеба для здорового питания и безглютеновых хлебцев с учетом особенностей патогенеза больных с непереносимостью глютена;

- проведены испытания функциональной эффективности новых видов хлебопродуктов в опытах на лабораторных животных;

- разработана, апробирована и зарегистрирована компьютерная программа для многокритериальной оценки пищевой и биологической ценности разрабатываемых рецептур обогащенных и специализированных хлебопродуктов (свидетельство о государственной регистрации № 2019663017, дата регистрации 08.10.2019).

- разработана и утверждена техническая документация на хлебобулочные изделия – хлеб пшеничный из муки первого сорта, обогащенный мукой киноа "Златушка" и безглютеновые хлебцы с мукой киноа "Славушка", проведена апробация технической документации в цехе по производству хлебопродуктов ООО "Миржик" г. Москвы. Получен патент "Способ производства безглютеновых хлебцев", заявка № 2019131410, от 04.10.2019.

Методология и методы диссертационного исследования. Методологической основой исследований являются современные международные и национальные научные принципы нутрициологии, системный анализ инновационных направлений

проектирования пищевых продуктов для персонализированного питания, научные труды ведущих ученых в области здорового питания, технологии пищевых производств, требования к безопасности и теоретические основы товароведения пищевых продуктов.

Положения, выносимые на защиту. Сравнительная оценка потребительских свойств разных товарных марок семян киноа, представленных на продовольственном рынке в России и обоснование выбора наиболее ценного источника функциональных ингредиентов. Анализ влияния муки киноа на хлебопекарные свойства пшеничной муки, на пищевую и биологическую ценность, реологические, органолептические, физико-химические, микробиологические показатели качества и безопасности обогащенного хлеба; научное обоснование проектирования многокомпонентного рецептурного состава безглютеновых хлебцев заданного химического состава. Методика проектирования рецептуры нутриенто-адаптированных хлебопродуктов.

Экспериментальные данные, подтверждающие эффективность новых технологических решений при формировании потребительских свойств и производстве обогащенного хлеба и безглютеновых хлебцев, результаты их комплексной товароведной оценки. Результаты биотестирования и опытов на лабораторных животных, подтверждающие функциональную эффективность макро- и микронутриентов киноа.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов подтверждена использованием современного аналитического лабораторного оборудования, значительным объемом экспериментальных данных, полученных не менее, чем в трехкратной повторности с использованием общепринятых и специальных органолептических, физико-химических, реологических и микробиологических методов исследования, а также статистических, математических методов анализа и проектирования многокомпонентных пищевых продуктов. Результаты исследований обрабатывали с помощью программ Microsoft Excel 2007, MATSTAT, STATISTICA 7.0. Статистическую обработку результатов проводили при доверительной вероятности 0,95.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались на 15 научных и научно-практических конференциях международного и национального уровня.

Публикация результатов исследования. Основное содержание работы представлено в 24 научных трудах, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, 4 статьи, относящиеся к реферативной базе данных Scopus, получен 1 патент Российской Федерации на изобретение, 1 свидетельство на компьютерную программу.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из 5 глав, в т.ч. введения, аналитического обзора литературы, экспериментальной части, выводов, списка литературы. Основной текст работы изложен на 153 страницах, включает 56 таблиц, 29 рисунков и 9 приложений. Список литературы содержит 285 источников, из которых 63 иностранных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, степень разработанности темы исследований, основные научные тенденции, сформулированы цели и задачи исследования.

В первой главе "Современные тенденции формирования ассортимента и производства хлебобулочных изделий нового поколения для здорового питания" проведен анализ современных направлений формирования ассортимента и производства хлебобулочных изделий нового поколения для обеспечения здорового питания. Показано, что при формировании рационов питания для профилактики алиментарных заболеваний следует использовать продукты массового потребления, на основе традиционного и нетрадиционного сырья, в том числе киноа, которые позволяют повысить пищевую ценность, снизить дефицит макро- и микронутриентов, способствуют профилактике алиментарных заболеваний и позволяют расширить ассортимент и объем производства продукции профилактического и специализированного назначения.

Во второй главе "Организация эксперимента, объекты и методы исследований" описывается организация диссертационного исследования, его объекты и методы. Схема исследований представлена на рисунке 1.

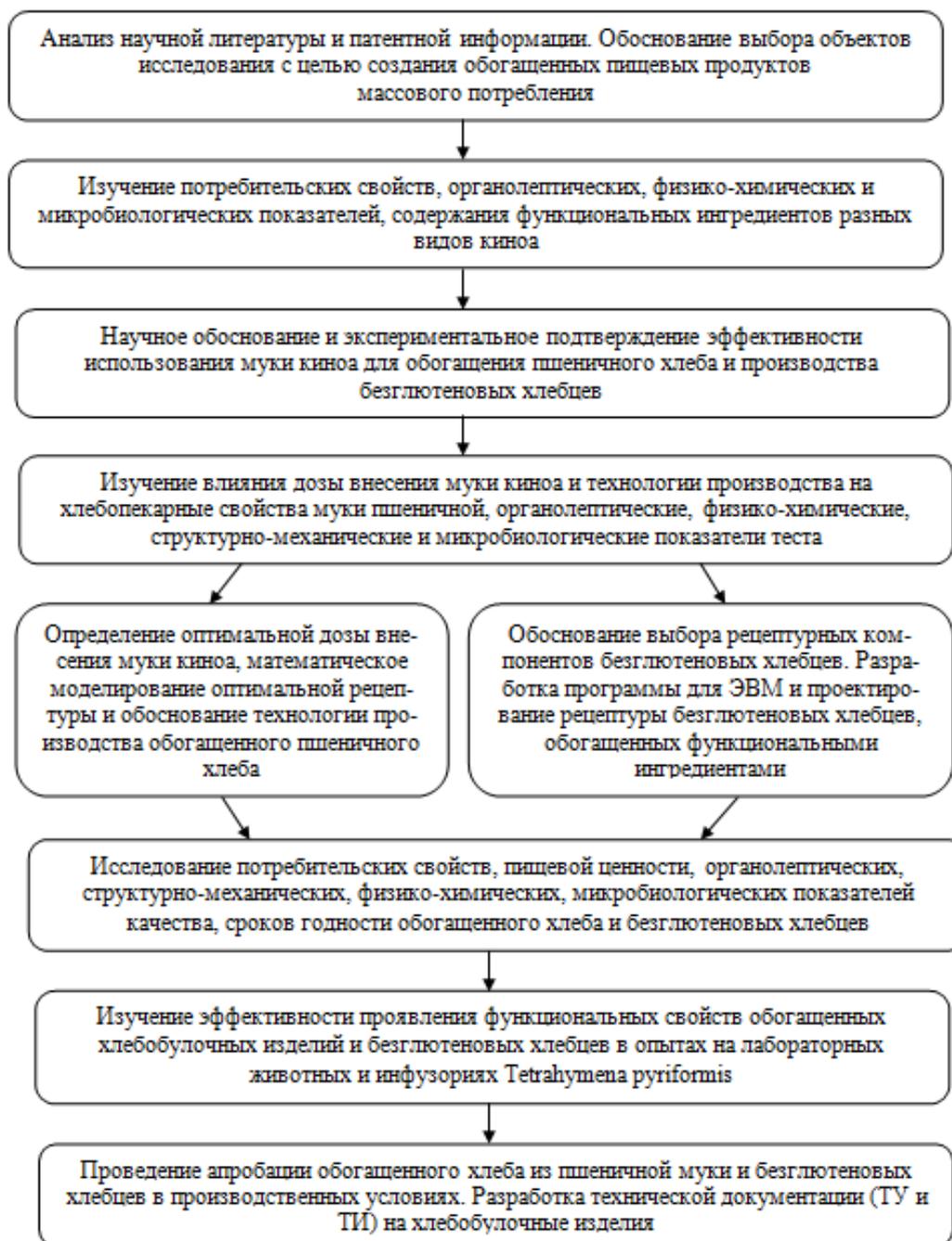


Рисунок 1 – Структурная схема проведения исследований

Основная часть теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертации проводилась в период с 2018 по 2021 г. в научно-исследовательских лабораториях кафедры товароведения и товарной экспертизы ФГБОУ ВО Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, в Центре технологий, биотехнологических и микробиологических исследований и в отделе реологии пищевых сред Научно-исследовательского института хлебопекарной промышленности, в отделе экспертизы пищевых товаров Экспертно-криминалистической службы г. Москвы Центрального экспертно-криминалистического таможенного управления. Основными объектами исследования являлись семена киноа разных производителей, мука киноа, мука чечевичная цельнозерновая, пробные выпечки и промышленные образцы готовых изделий обогащенного хлеба и экспериментальные изделия безглютеновых хлебцев.

В работе использовались стандартные и оригинальные современные методы анализа органолептических, физико-химических, реологических, микробиологических и медико-биологических показателей потребительских свойств объектов исследования.

В третьей главе "Изучение потребительских свойств разных видов семян псевдозерновой культуры киноа, реализуемой на российском продовольственном рынке" приведены результаты комплексного сравнительного анализа органолептических, функционально-технологических свойств, пищевой и биологической ценности шести торговых марок киноа отечественного и зарубежного производства, реализуемых на потребительском рынке России для установления наиболее перспективного источника функциональных ингредиентов для производства обогащенных и безглютеновых хлебопродуктов. Полученные результаты свидетельствуют о высокой пищевой и биологической ценности исследованных видов киноа (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительный химический состав различных торговых марок киноа и традиционных сельскохозяйственных культур, г/100г

Показатели	Торговая марка семян киноа						Традиционные зерновые культуры	
	Bravolli	Мистраль	Bohlsener & Muehle	Продукты XXII века "белого" цвета	Продукты XXII века "черного" цвета	киноа, выращенная в Подмоскovie	Рис	Пшеница (мягкая)
Белок	13,4±0,01	14,3±0,02	12,2±0,01	14,5±0,01	13,3±0,02	12,6±0,03	7,2±0,02	11,5±0,01
Жир	7,0±0,02	7,1±0,02	5,9±0,02	6,8±0,02	6,7±0,03	6,1±0,01	2,6±0,03	2,2±0,02
Углеводы	60,4±0,03	64,9±0,01	62,4±0,03	64,0±0,01	57,8±0,01	61,4±0,04	71,1±0,05	59,5±0,05
Пищевые волокна	5,2±0,01	5,0±0,01	5,8±0,02	6,9±0,03	8,0±0,02	5,0±0,01	9,7±0,01	10,8±0,04
Минеральные вещества	2,4±0,02	2,5±0,01	2,0±0,03	2,4±0,01	2,38±0,03	2,6±0,05	3,9±0,05	1,7±0,01

Высокое содержание полноценного белка содержится в семенах киноа и достигает 14,5 %. В традиционных зерновых культурах рисе и пшенице содержание белка ниже – 7,2 % и 11,5 %. Белок киноа не содержит лимитирующих аминокислот и по биологической ценности близок к идеальному белку по шкале ФАО/ВОЗ. Аминокислотный скор незаменимых аминокислот в белке киноа выше, чем в пшенице мягких сортов, в т.ч. у метионина и цистеина он почти в 2,5 раза выше по сравнению с пшеницей и составляет 239 %, аминокислотный скор для лизина составляет 112 % и треонина – 122 %.

Содержание жира в киноа колеблется от 4,9 до 7,1 мг/100г, он имеет более высокую биологическую эффективность по сравнению с традиционными зерновыми культурами. Жир семян киноа содержит до 53 % полиненасыщенных жирных кислот (от общего их содержания), в которых установлено наиболее приближенное к оптимальному соотношение ω -6 и ω -3 жирных кислот - 5-6:1, в то время как соотношение ω -6: ω -3 жирных кислот находится на уровне 20:1 для риса и 21:1 для пшеницы.

Культура киноа содержит большое количество макро- и микроэлементов и витаминов в количествах, позволяющих использовать их для коррекции состава эссенциальных нутриентов в хлебопродуктах (рис. 2).

Установлено, что макроэлементы киноа – магний и калий, микроэлементы – марганец, селен, железо, фосфор и цинк; витамины С, β -каротин, В₁, В₂, В₆ и фолиевая кислота характеризуются высоким уровнем удовлетворения суточной потребности и могут быть рекомендованы в качестве функциональных ингредиентов, для обогащения зерномучных товаров.

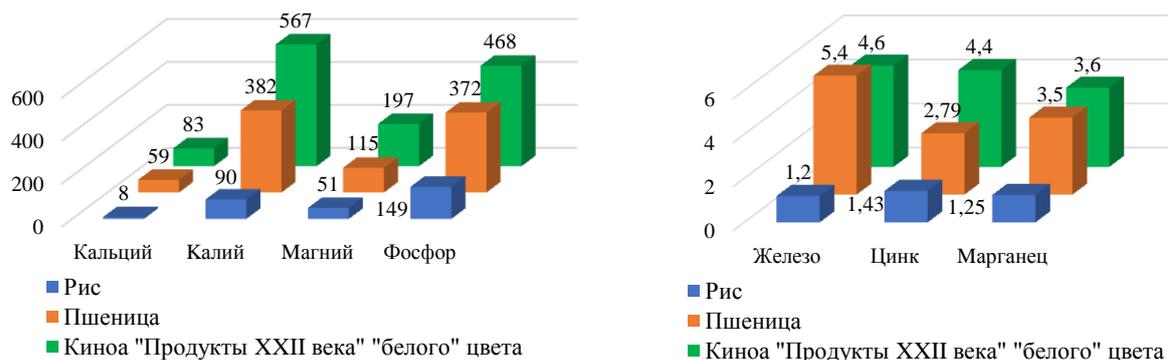


Рисунок 2 – Содержание макро- и микроэлементов в зерне, мг/100 г

Результаты микробиологического исследования показали, что все исследованные виды муки киноа отличаются более высоким уровнем обсемененности по сравнению с мукой пшеничной, что необходимо учитывать при разработке элементов технологии пшеничного хлеба, направленных на снижение риска размножения спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis* и плесневых грибов с целью повышения микробиологической безопасности готовых изделий.

По комплексу показателей химического состава, органолептических и физико-химических показателей в качестве источника функциональных ингредиентов научно обоснован выбор семян киноа торговой марки "Продукты XXII века" "белого" цвета для обогащения пшеничного хлеба.

Глава 4. "Формирование потребительских свойств хлеба пшеничного, обогащенного функциональными ингредиентами муки киноа" представлены результаты исследований влияния технологии приготовления хлеба на его потребительские характеристики и микробиологическую стабильность. Проведено сравнение органолептических, физико-химических, реологических и микробиологических показателей качества лабораторных образцов хлеба, обогащенных мукой киноа.

Изучено влияние белой цельнозерновой муки киноа высшего сорта торговой марки "Продукты XXII века", изготовленной по ТУ 10.61.22-004-05604978 на хлебопекарные свойства муки пшеничной первого сорта, используемой для производства хлебобулочных изделий большое влияние оказывает гранулометрический состав и морфологические характеристики частиц муки основного сырья – муки пшеничной и муки киноа, было установлено, что мука киноа имела $d_{экр}$ около 140 мкм, а пшеничная - 130 мкм, показатель дисперсности был незначительно, на 7,8 % выше, чем дисперсность пшеничной муки, а по показателям гладкости ниже на 1,8 %, вытянутости – ниже на 6,7%. В среднем, гранулометрический состав муки киноа близок к размерным фракциям пшеничной муки. Следовательно, частичная замена муки пшеничной на муку киноа близкой по гранулометрическому составу и содержащей, незначительно меньше удельный вес вытянутых частиц, не должно ухудшать хлебопекарные свойства муки из-за нарушения баланса размерных характеристик (рис. 3).



Рисунок 3 – Характеристика частиц исследуемых видов муки:
1 – мука киноа; 2 – мука пшеничная первого сорта

Сравнительная характеристика показателей качества исследуемых видов муки представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика физико-химических показателей качества хлебопекарной пшеничной муки первого сорта и муки киноа

Показатель	Вид муки	
	мука пшеничная первого сорта	мука киноа цельнозерновая
Влажность, %	11,8±0,08	11,3±0,07
Кислотность, град.	3,6±0,04	6,3±0,11
Белизна муки, ед. пр. РЗ- БПЛ	47±0,02	20±0,03
Содержание сырой клейковины, %	30,48±0,05	-
Качество клейковины, ед. ИДК	76,0±0,03 (1 группа качества, средняя)	-

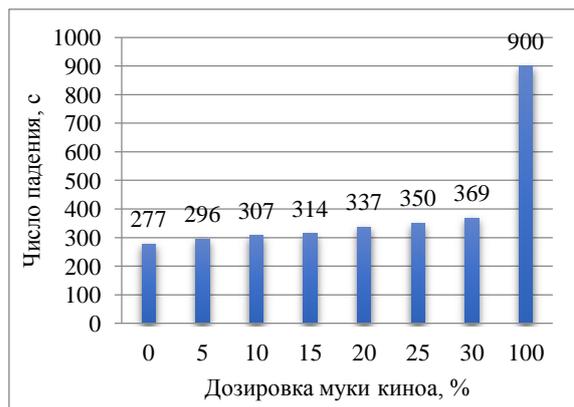


Рисунок 4 – Влияние муки киноа на автолитическую активность пшеничной муки 1 сорта

На следующем этапе было изучено влияние дозы внесения муки киноа в рецептурную смесь на количество и качество клейковины, на автолитическую активность (рис. 4) пшеничной муки и показатели, характеризующие хлебопекарные свойства теста. Установлено, что мука киноа обладает низкой активностью α -амилазы (число падения 900 с). Добавление муки киноа к пшеничной муке приводит к пропорциональному повышению числа падения, и при внесении муки киноа более 15 % значение числа падения переходит в группу значений с низкой активностью амилолитического комплекса, который не рекомендуется для хлебопечения. Поэтому муку киноа целесообразно использовать в качестве добавки для приготовления обогащенного хлеба в смеси с пшеничной мукой в количестве, не превышающем 15 % без использования дополнительных технологических приемов тестоведения. Для увеличения дозы внесения муки киноа необходимо использовать технологические приемы, позволяющие нивелировать негативное влияние низкой амилолитической активности субстрата (муки киноа).

Для оценки влияния муки киноа на изменение свойств водно-мучной суспензии в ходе её клейстеризации при нагревании проводили исследование на приборе амилограф. Стандартный метод позволяет устанавливать вязкость водно-мучной суспензии для определения влияния амилолитических ферментов (в т.ч. термостойкой α -амилазы) на активность клейстеризации и позволяет определить температуру клейстеризации. Температура начала клейстеризации крахмала в образцах с добавлением муки киноа повышается по отношению к контрольному образцу, что на данном этапе усиливает дезагрегирующие и гидролитическое действие ферментов муки.

Необходимым критерием для определения влияния муки киноа на хлебопекарные свойства муки для выпечки хлеба пшеничного является анализ реологических свойств теста (время образования, устойчивость), определяемых на приборе фаринограф (рис. 5). Внесение муки киноа взамен пшеничной увеличивает водопоглотительную способность теста, это связано с увеличением содержания белка и некрахмалистых полисахаридов. Увеличение водопоглотительной способности теста создает лучшие условия для клейстеризации крахмала, поглощения влаги, что способствует формированию равномерной консистенции, устойчивости теста и приводит к увеличению выхода готовых изделий, сокращает продолжительность процесса брожения.

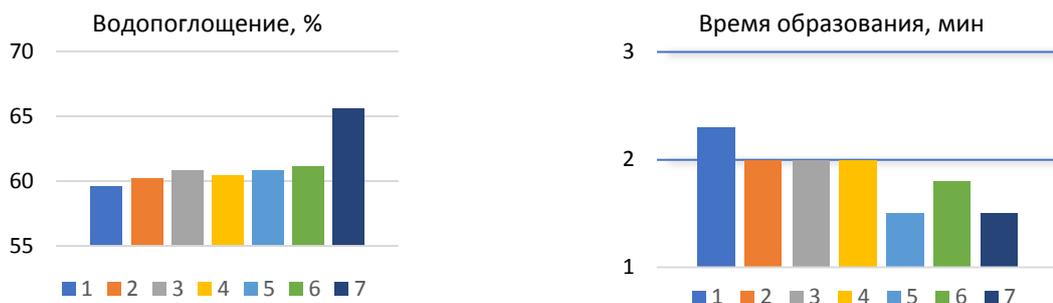


Рисунок 5 – Реологические показатели теста из муки пшеничной 1 сорта и теста с добавлением различных дозировок муки киноа, полученные на фаринографе
 Дозировка добавления муки киноа в муку пшеничную 1 сорта:
 1 – 0 %; 2 – 5 %; 3 – 10 %; 4 – 15 %; 5 – 20 %; 6 – 25%; 7 – 30%

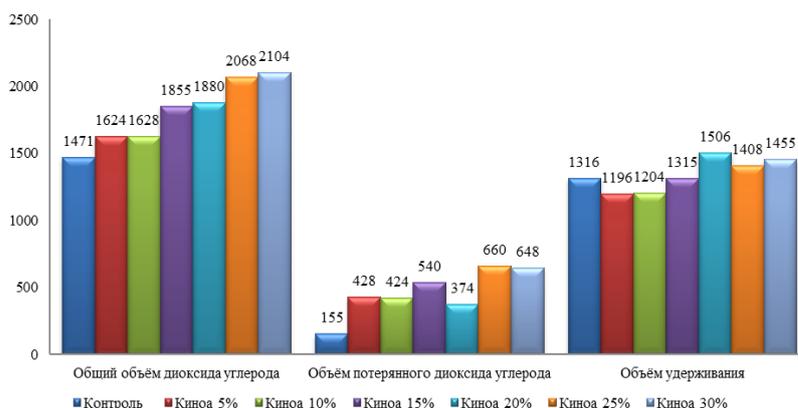


Рисунок 6 – Показатели газообразующей и газодерживающей способности теста из пшеничной муки, смеси пшеничной муки и муки киноа

Установлено увеличение показателя газообразующей способности теста при добавлении муки киноа, что, возможно, связано с изменением углеводно-амилазного комплекса мучных смесей при внесении муки киноа. Высокая газодерживающая способность теста установлены при добавлении 15-30 % муки киноа.



Рисунок 7 – Влияние дозировок муки киноа на количество клейковины

Формирование потребительских свойств и разработка рецептуры хлеба пшеничного, обогащенного функциональными ингредиентами муки киноа. Для определения максимально возможной замены пшеничной муки на муку киноа изучено влияние дозировки муки киноа в количестве от 5 % до 30 %, с шагом 5 % на потребительские свойства хлеба.

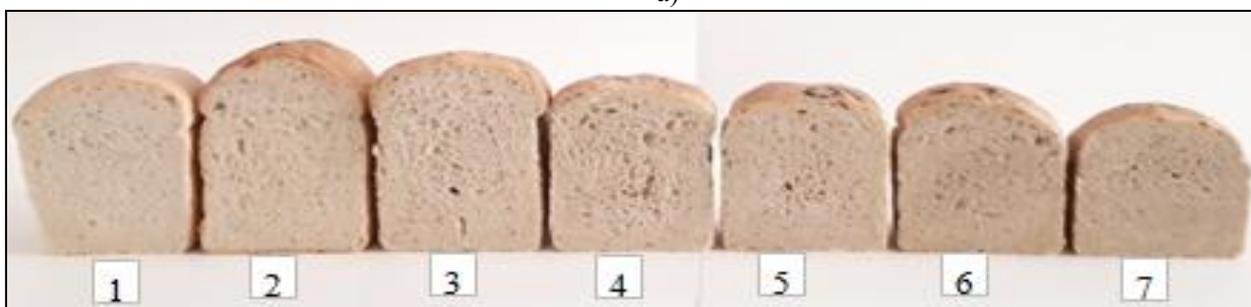
В качестве базовой рецептуры использовали рецептуру, рекомендованную и утвержденную в сборнике рецептов НИИХП. Для определения оптимальной концентрации муки киноа проводили пробные выпечки для каждого варианта. Анализ

С целью оптимизации параметров процесса брожения теста, определяли газообразующую и газодерживающую способности пшеничной муки первого сорта с добавлением муки киноа (рис. 6). Газообразующую способность теста с добавлением муки киноа определяли по объему углекислого газа, выделившегося в процессе брожения в течении 300 мин.

органолептических и физико-химических показателей готовых образцов осуществляли в соответствии со стандартными методиками. Сопоставляя внешний вид опытных и контрольных образцов, представленных на рисунке 8а, и внешнего вида хлеба на разрезе (рис. 8б) четко видно, что при введении 5 % и 10 % муки киноа наблюдалось видимое увеличение объема и высоты образцов хлеба. При добавлении 15-20% муки киноа объем и высота образцов, соответствовала показателям образцов, полученным по базовой контрольной рецептуре, дальнейшее увеличение содержания муки киноа в рецептуре от 20 % до 30 % приводило к уменьшению данных показателей.



а)



б)

Рисунок 8 – Влияние муки киноа (% внесения в рецептурный состав) на внешний вид готовых изделий (а) и вид на разрезе (б)

1 – контроль (без обогащения), 2 – 5 %, 3 – 10 %, 4 – 15 %, 5 – 20 %, 6 – 25 %, 7 – 30 % муки киноа

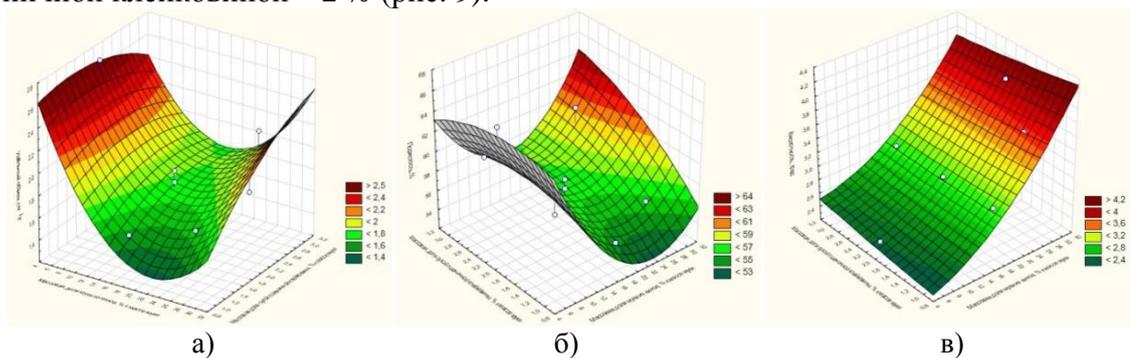
Анализ органолептических характеристик исследуемых изделий показал, что при внесении муки киноа более 20 % снижаются все исследуемые органолептические показатели: на поверхности появляются трещины, цвет приобретает более темный оттенок, пористость становится неравномерной, появляется привкус и запах добавки. Значения удельного объема, пористости, влажности и кислотности исследуемых вариантов опытной выпечки были наиболее приближены к базовым вариантам при внесении 15 % муки киноа.

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества хлеба, обогащенного мукой киноа

Показатель	Контроль	Содержание муки киноа, % от массы муки					
		5	10	15	20	25	30
Удельный объем, см ³ /г	2,93±0,01	3,25±0,05	2,97±0,09	2,94±0,03	2,35±0,09	2,22±0,08	1,83±0,04
Пористость, %	72,4±0,09	70,0±0,01	67,7±0,06	61,1±0,02	60,8±0,06	58,7±0,03	58,4±0,08
Влажность, %	43,6±0,02	42,8±0,04	42,8±0,06	43,9±0,07	44,2±0,05	44,4±0,01	45,2±0,08
Кислотность, град	1,1±0,05	1,4±0,08	1,7±0,011	2,1±0,06	2,4±0,04	2,7±0,08	3,0±0,12

Для увеличения возможного количества муки киноа, вносимой в базовую рецептуру пшеничного хлеба, стабилизации структуры клейковины и потребительских свойств дополнительно в базовую рецептуру была внесена сухая пшеничная клейковина. Для оптимизации соотношения муки киноа и сухой пшеничной клейковины была проведена с помощью математического моделирования состава рецептуры с использованием композиционно-ротатабельного планирования эксперимента по программе "MATSTAT" (НИИХП). Установлено, что оптимальные результаты по значениям удельный объем, пористость, кислотность и влажность хлеба достигались при обогащении

традиционной рецептурной смеси хлеба мукой киноа в количестве 17-20 % и сухой пшеничной клейковиной – 2 % (рис. 9).



а) удельный объем; б) пористость; в) кислотность

Рисунок 9 – Поверхность отклика зависимости физико-химических показателей образцов пробной выпечки от содержания муки киноа и сухой пшеничной клейковины в рецептуре

Используя программу «STATISTICA 7.0», был проведен анализ полученных результатов и получены регрессионные уравнения, характеризующие зависимость значений показателей водоудерживающей способности теста, удельного объема, пористости, кислотности в пробных выпечках опытных и контрольных образцов хлеба от массовой доли муки киноа и сухой пшеничной клейковины. На основании полученных результатов была оптимизирована рецептура хлеба, обогащенного мукой киноа, с дополнительным введением сухой пшеничной клейковины. Оптимальные результаты по значениям удельный объем, пористость, кислотность хлеба достигались при обогащении традиционной рецептурной смеси хлеба мукой киноа в количестве 17 % - 20 % и сухой пшеничной клейковиной – 2 %.



а) контрольный вариант



б) вариант по оптимизированной рецептуре

Рисунок 10 – Внешний вид хлеба обогащенного 17 % мукой киноа и добавлением 2 % сухой пшеничной клейковины

По результатам анализа пробной выпечки по предложенной рецептуре опытные образцы обогащенного хлеба превосходили контрольные образцы, полученные по базовой рецептуре (рис. 10).

Анализ пищевой ценности обогащенного хлеба представлен в таблице 4. Наиболее существенное увеличение произошло по содержанию белка (почти на 50 %), удовлетворение суточной потребности составило около 20 %; содержание пищевых волокон увеличилось на 16 %; увеличение содержания магния, фосфора и железа составило соответственно – 91 %, 77 % и 34 %.

Увеличилось содержание витаминов В₁, В₂, В₆ соответственно на 11 %, 67 % и 33 %. Полученные результаты позволили рекомендовать оптимизированную рецептуру для производства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа с дополнительным внесением пшеничной клейковины.

Влияние технологии производства на потребительские свойства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа. Технология производства хлеба оказывает существенное влияние на органолептические, физико-химические, микробиологические показатели качества хлеба, а также определяет продолжительность и трудоемкость процесса, его себестоимость. Изучено влияние безопасной, безопасной с использованием 10 % концентрированной молочно-кислой закваски производства НИИХП (КМКЗ). от общей массы муки и опарной технологии производства (табл. 4, 5).

Использование безопасного способа производства обогащенного хлеба с использованием КМКЗ, позволяет получить хлеб, который превосходит по основным показателям контрольный и опытные образцы, полученные опарным и безопасным способом. Применение дополнительного молочнокислого брожения при производстве теста приводило к повышению пористости готового хлеба более, чем на 16 %, его формоустойчивости – на 46 % и удельного объема хлеба – на 8 %.

Таблица 4 – Пищевая ценность хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа и традиционного пшеничного хлеба

Содержание нутриента	Контроль	Хлеб, обогащенный мукой киноа и сухой пшеничной клейковиной	Суточная потребность	Удовлетворение суточной потребности, %
Белок, г	7,72	14,60	75,00	19,50
Прирост, %	-	48,61		
Пищевые волокна, г	3,45	5,00	30,00	16,70
Прирост, %	-	15,94		
Кальций, мг	21,19	28,02	1000,00	2,80
Прирост, %	-	32,23		
Калий, мг	130,39	203,49	3500,00	5,80
Прирост, %	-	76,76		
Магний, мг	30,87	59,10	400,00	15,00
Прирост, %	-	91,22		
Цинк, мг	0,88	1,26	15,00	8,40
Прирост, %	-	43,21		
Фосфор, мг	86,30	152,90	800,00	19,11
Прирост, %	-	77,17		
Железо, мг	1,51	2,91	14,00	20,80
Прирост, %	-	39,73		
Тиамин, мг (B ₁)	0,18	0,30	1,40	21,40
Прирост, %	-	11,11		
Рибофлавин, мг	0,06	0,24	1,60	15,00
Прирост, %	-	66,66		
Адермин, мг	0,15	0,42	15,00	2,80
Прирост, %	-	33,33		

Таблица 5 – Влияние технологии производства на потребительские свойства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа

Показатель	Способ приготовления теста				
	контроль	безопасный на КМКЗ	опарный		безопасный
			мука киноа, добавленная в тесто	мука киноа, добавленная в опару	
Удельный объем, см ³ /г	2,4±0,08	2,6±0,07	2,5±0,13	2,3±0,11	2,3±0,11
Пористость, %	62±0,07	72±0,12	66±0,11	68±0,09	67±0,11
Кислотность, град	1,6±0,08	3,8±0,15	3,4±0,05	3,5±0,08	3,6±0,014
Влажность, %	37,0±0,11	42,5±0,15	41,8±0,07	42,5±0,04	42,3±0,09
Масса готовых изделий, г	392±0,14	385±0,09	390±0,11	391±0,11	387±0,14
Упек, %	6,7±0,09	8,3±0,12	7,14±0,14	6,9±0,03	7,86±0,03
Формоустойчивость (H:D), мм	0,43±0,09	0,63±0,14	0,75±0,03	0,58±0,11	0,57±0,06

Влияние способов производства на физико-химические показатели качества хлеба представлено в таблице 5. Использование безопасного способа производства хлеба пшеничного, обогащенного 17 % муки киноа с добавлением 2 % сухой пшеничной клейковины с использованием КМКЗ, позволяет получить хлеб, который превосходит по основным показателям контрольный и опытные образцы, полученные опарным и безопасным способом.

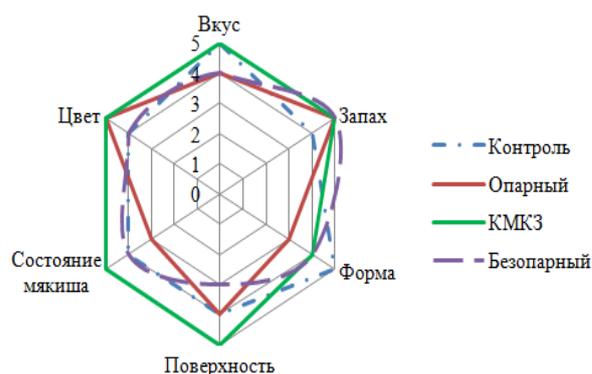


Рисунок 11 – Влияние технологии производства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа на органолептические показатели качества, балл 17 % муки киноа с добавлением 2 % сухой хлеб, отличающийся более выраженным вкусом и запахом, имеющий эластичную, равномерную и хорошо развитую структуру мякиша.

Важной характеристикой при обосновании выбора технологии производства хлеба является скорость его черствения при хранении. Черствение обусловлено в основном изменением реологических характеристик мякиша. Исследование реологических свойств хлебобулочных изделий в процессе хранения определяли на приборе «Структурометр СТ-2». Характеристика динамики значений усилия нагружения на инденторе, полученные при исследовании мякиша изучаемых образцов хлеба, приведены на рисунке 12.

Значения усилия нагружения при деформации мякиша через 24 часа после выпечки самые низкие в образце, полученном по безопарной технологии с использованием КМКЗ (1154 г), по сравнению с другими вариантами и контрольным образцом (1633 г). Установлено, что минимальные изменения усилия нагружения при деформации мякиша 408 г и 282 г относятся к хлебу, приготовленному на КМКЗ, при хранении в течение 48 и 72 часов, соответственно. Мякиш хлеба, обогащенного мукой киноа, приготовленный безопарным способом на КМКЗ и опарным способом, при внесении муки киноа в тесто характеризовался

Применение дополнительного молочнокислого брожения при производстве теста приводило к повышению пористости готового хлеба более, чем на 16 %, его формоустойчивости – на 46 % и удельного объема хлеба – на 8 %.

Сравнительная характеристика органолептических показателей качества готового хлеба пшеничного, произведенного по разным технологиям и контрольного варианта представлена на профилограмме (рис. 11). Сравнительная характеристика органолептических показателей качества готового хлеба пшеничного, обогащенного пшеничной клейковины, позволяет получить

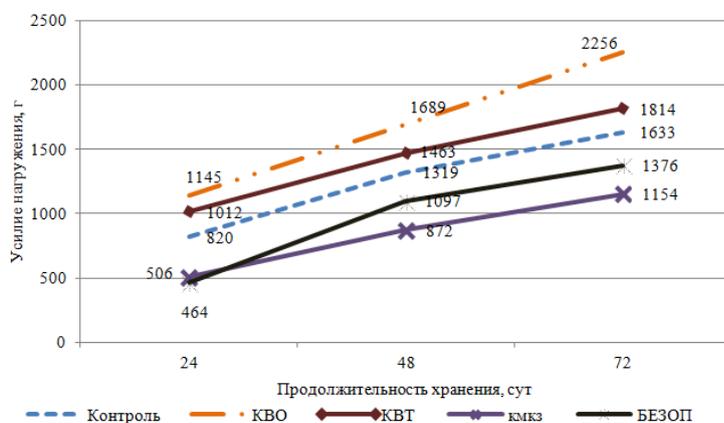


Рисунок 12 – Влияние технологии производства обогащенного хлеба на динамику усилий нагружения на «Структурометре СТ-2»

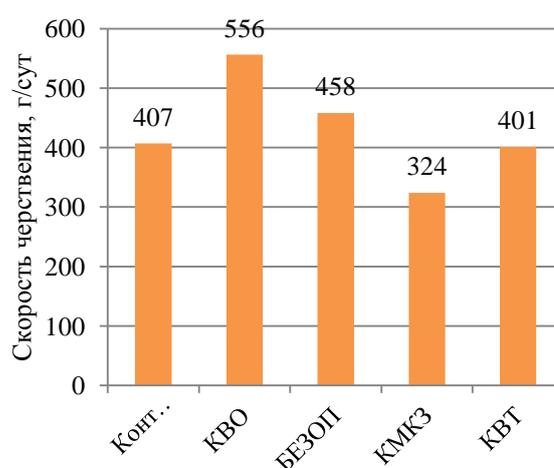


Рисунок 13 – Влияние технологии производства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа на скорость черствения

меньшей скоростью черствения 324 г/сут и 401 г/сут, соответственно, по сравнению с аналогичным показателем контрольного образца хлеба из пшеничной муки (407 г/сут) (рис. 13).

Влияние технологии производства хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа на устойчивость к поражению картофельной болезнью.

Использование КМКЗ при безопасной технологии приводит к снижению контаминации всеми видами исследованных групп микроорганизмов, в т.ч. спорообразующими бактериями рода *Vacillus*, вызывающими развитие хлебной болезни. Для определения вероятности заражения исследуемых образцов хлеба хлебной болезнью при хранении, проводились исследования хлебобулочных изделий в соответствии с Инструкцией НИИХП. Наиболее устойчивыми к заражению были образцы пробной выпечки, полученные безопасным способом с внесением КМКЗ, в котором через 60 часов хранения было выявлено 15 КОЕ бактерий, вызывающих заболевание, в контрольном образце через 48 часов КОЕ – 36 (рис. 14).

На основании результатов органолептических исследований и подсчета колоний микроорганизмов, образовавшихся из проросших спор бактерий рода *Vacillus*, способных флюоресцировать под действием ультрафиолетового излучения, было установлено, что образец хлеба, полученный безопасным способом, дополненный процессом молочнокислого брожения, вызванного внесением в тесто закваски КМКЗ – был наиболее устойчив к заражению хлебной болезнью.

Молочнокислые бактерии являются антагонистами многих видов микроорганизмов и задерживают рост микрофлоры, вызывающей порчу хлеба.

Влияние технологии производства на активность воды хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа.

Самое низкое значение активности воды (A_w) было установлено в образце хлеба, обогащенного мукой киноа приготовленного по безопасной технологии с использованием концентрированной молочнокислой закваски, A_w равна 0,879, это снижает вероятность развития микроорганизмов по сравнению с контролем и другими исследуемыми вариантами (рис. 15).

Биотестирование интегральной пищевой ценности и токсичности пищевых веществ хлеба из пшеничной муки, обогащенного мукой киноа. Целью исследования являлось исследование физиологической доступности и интегральной токсичности пищевых веществ хлеба из пшеничной муки с добавлением муки киноа с использованием реснитчатых инфузорий *Tetrahymena* у которых метаболизм усвоения пищевых веществ

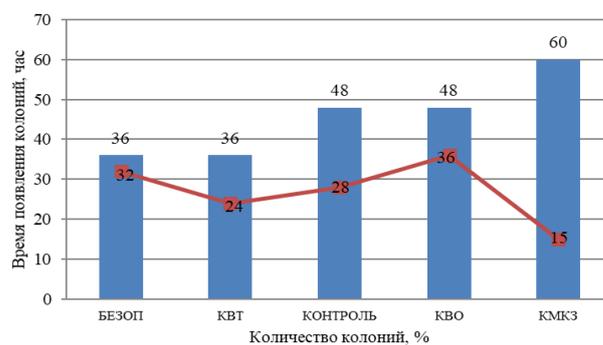


Рисунок 14 – Влияние технологии на время появления признаков поражения хлеба картофельной болезнью БЕЗОП – безопасный; КМКЗ – на концентрированной молочнокислой закваске; КВО – опарный, с внесением муки киноа в опару; КВТ – опарный, с внесением муки киноа в тесто

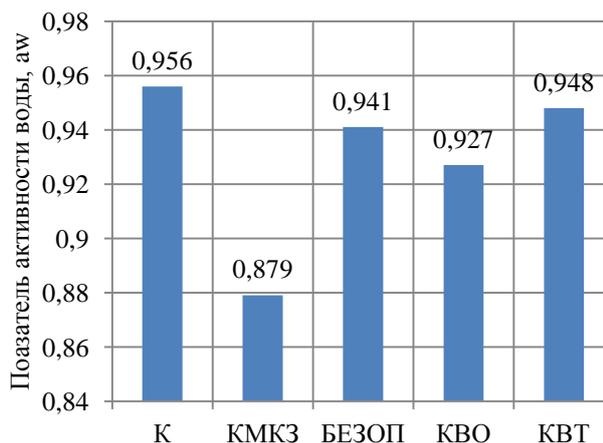


Рисунок 15 – Влияние муки киноа на значение показателя «активность воды» хлеба, полученного по разным технологиям (через 24 часа после выпечки)

близок к метаболизму у высших животных (табл. 7). Максимальное количество живых клеток инфузорий было установлено в питательной среде с хлебом, обогащенным киноа, произведенном безопасным способом с использованием КМКЗ. В этом варианте была выявлена наиболее высокая физиологическая активность инфузорий.

Таблица 7 – Биотестирование хлеба из пшеничной муки с добавлением муки киноа на инфузориях *Tetrahymena pyriformis* (через 48 часов культивирования)

Вариант опыта	Среднее значение количества живых клеток в одном большом квадрате камеры Фукса-Розенталя	Количество мертвых клеток в одном большом квадрате камеры Фукса-Розенталя	Физиологическая активность инфузорий, баллы
Контроль	13,0	0	3
Безопасный +КМКЗ	66,31	0	5
Безопасный	11,03	0	3
Опарный	52,0	0	4

Глава 5 Формирование портрета безглютеновых хлебцев с заданным химическим составом. В работе было проведено научное обоснование рецептуры и технологии безглютеновых хлебцев, максимально отвечающих требованиям здорового питания, сбалансированных по содержанию и составу белка, незаменимых аминокислот, полиненасыщенных жирных кислот, эссенциальных функциональных микронутриентов с последующим подтверждением их функциональной эффективности в опытах на лабораторных животных.

Учитывая возрастающие распространение алиментарных заболеваний, связанных с непереносимостью глютена, большое внимание при формировании рациона здорового питания уделяется расширению ассортимента продуктов не содержащих глютен. В работе разработана рецептура и технология безглютеновых хлебцев, для которых используется сырье, не содержащее глютен, характеризующееся высоким уровнем полноценного белка, пищевых волокон и сбалансированного комплекса биологически активных веществ. Этим требованиям в полной мере отвечает комбинирование дополняющих друг друга сырьевых источников – муки киноа и чечевицы. Определение содержания глютена в муке киноа и чечевичной муке с использованием тест-системы «ХЕМАТест Глютен Х380.2» подтвердило его отсутствие. Для обогащения хрустящих хлебцев ω -3 жирными кислотами, жирорастворимыми витаминами и антиоксидантами в состав рецептуры вводили масло льняное, измельченные семена льна и подсолнечника. Для улучшения органолептических показателей использовали патоку мальтозную и соль пищевую.

Моделирование рецептуры проводилось на основании результатов анализа химического состава сырьевых ингредиентов с учетом необходимости формирования стабильных функционально-технологических характеристик теста для производства хлебцев с последующим проведением лабораторных выпечек и оценкой их органолептических, физико-химических и микробиологических показателей качества.

Используя метод униформ-ротатабельного планирования, был спланирован эксперимент по определению влияния муки киноа, муки чечевицы в диапазоне от 30 % до 70 % и добавления мальтозного сиропа в объеме от 5 % до 23 % на физико-химические показатели и пищевую ценность готовых безглютеновых хрустящих хлебцев. Получены математические зависимости, характеризующие изменение органолептических и физико-химических показателей качества хлебцев в зависимости от соотношения муки киноа, чечевицы и патоки мальтозной в составе рецептуры. Научно обосновано оптимальное соотношение основных сырьевых ингредиентов рецептуры безглютеновых хлебцев: мука киноа и чечевицы в количестве 50 %:50 % и 14 % мальтозной патоки.

Одним из важнейших показателей качества хлебцев является их консистенция, они должны быть хрупкими, с развитой пористостью, разрыхленные. Поэтому при разработке рецептуры обогащенных хлебцев необходимо учитывать структурно-механические показатели. Изучено влияние рецептурного состава на модуль упругости хлебцев при изгибе.

На основании полученных результатов анализа органолептических, структурно-механических и физико-химических показателей опытных образцов хлебцев и результатов оптимизации рецептуры, полученных при статистической обработке была разработана рецептура для производства обогащенных безглютеновых хлебцев с наилучшими показателями качества (кг): мука чечевичная - 50,0; мука киноа белая - 50,0; патока мальтозная - 14,0; масло льняное - 10,0; натрия карбонат - 4,0; соль пищевая - 1,5; семена подсолнечника - 20,0; семена льна - 25,0; дрожжи хлебопекарные прессованные -1,0; вода питьевая - по расчету.

Получены регрессионные уравнения, описывающие зависимость отдельных показателей пищевой ценности: массовой доли белка; жира; углеводов; магния; фосфора; селена; цинка; витаминов В₂; В₆; В₉; витамина Е в исследуемом диапазоне изменения параметров, позволяющие управлять составом основных рецептурных компонентов безглютеновых хлебцев для оптимизации пищевой ценности продукта.

В таблице 8 приведена сравнительная характеристика химического состава обогащенных безглютеновых хлебцев, выработанных по оптимизированной рецептуре и контрольного вариант, определен уровень удовлетворения физиологически обусловленной суточной потребности в соответствии с МР 2.3.1.0253—21.

Таблица 8 – Пищевая ценность безглютеновых хлебцев, произведенных по оптимизированной рецептуре

Показатель пищевой ценности	Контрольный вариант*	Безглютеновые хлебцы	Суточная потребность	Удовлетворение суточной потребности, %
Белок, г	17,4	23,3	75,0	31,1
Прирост, %	-	25,3		
Пищевые волокна, г	11,4	14,63	30,0	48,8
Прирост, %	-	28,3		
Кальций, мг	377,1	407,36	1000,0	40,7
Прирост, %	-	8,03		
Калий, мг	468,2	792,8	3500,0	22,7
Прирост, %	-	69,3		
Магний, мг	195,7	265,2	400,0	66,3
Прирост, %	-	35,5		
Цинк, мг	2,9	4,14	150,0	2,76
Прирост, %	-	42,8		
Фосфор, мг	647,7	874,7	800,0	109,3
Прирост, %	-	35,05		
Железо, мг	4,6	9,08	14,0	64,9
Прирост, %	-	97,4		
Тиамин, мг	0,98	1,1	1,4	78,6
Прирост, %	-	12,2		
Рибофлавин, мг	0,14	0,27	1,6	18,6
Прирост, %	-	92,9		
Токоферол, мг	1,46	13,13	10,0	131,3
Прирост, %	-	112,5		

* Контроль - образец, в рецептуре которого мука киноа и чечевичная мука были заменены на пшеничную хлебопекарную муку первого сорта.

Получение безглютеновых хлебцев по предложенной рецептуре позволило увеличить, по отношению к традиционным хлебцам из муки пшеничной первого сорта, содержание белка на 23,3 %, пищевых волокон - на 28 %, рибофлавина – на 92 %, токоферола почти на 800 %, антиоксидантов на 40 %, также увеличено содержание минеральных веществ – калия, магния, фосфора, железа и др. Белки безглютеновых хлебцев характеризовались отсутствием лимитирующих незаменимых аминокислот. По уровню сбалансированности аминокислотного состава, белок безглютеновых хлебцев был близок к идеальному белку. Аминокислотный скор составил соответственно: для триптофана - 1,3, треонина - 1,0, изолейцина –1,2, лейцина - 1,1, лизина - 1,2, метионина+цистина -1,0, фенилаланина+тирозина – 1,38, валина и гистидина -1,76.

Анализ жирнокислотного состава показал, что в хлебах, изготовленных с использованием киноа, чечевицы, льняного масла и семян льна содержится большое количество ПНЖК, в т.ч.: ω -6 - линолевая кислота составляет 37,9, ω -3 - альфа-линолевая к-та - 17,0 % и докозагексаеновая – 0,4 %.

Учитывая, что большое внимание при обогащении хлебобулочных изделий необходимо уделять увеличению содержания витаминов, было подтверждено, что использование сырьевых компонентов богатых водо- и жирорастворимыми витаминами позволяет достичь высокий уровень комплексного обогащения хлебцев витаминами А, В₁, В₉, Е, РР (табл. 9).

При этом исследуемые образцы отвечали требованиям безопасности по микробиологическим показателям и имели высокий уровень микробиологической стабильности, А_w составляла 0,380 (рис. 16). Изучена корреляция показателей кислотности, перекисного числа жира и органолептических показателей хлебцев при хранении и установлен рекомендуемый срок годности с учетом коэффициента резерва (МУК 4.2.1847—04) – 6 мес., который на 2 месяца превышает рекомендованный срок, указанный в ГОСТ 9846-88 «Хлебцы хрустящие».

Таблица 9 – Определение содержания витаминов, мг/кг на 100 г

Показатель	Контроль (хлебцы пшеничные), мг/100 г	Безглютеновые хлебцы с мукой киноа (опыт), мг/100 г	Суточная потребность	Уровень удовлетворения суточной потребности (контроль), %	Уровень удовлетворения суточной потребности (опыт), %
β-каротин	0,01	0,08	800 мкг	1,25	10
Витамин В ₁	0,18	14,88	1,4 г	0,013	1,06
Витамин В ₂	0,04	0,86	1,6 г	0,0025	0,05
Витамин В ₉ , мкг/100г	27,10	197,00	200 мкг	13,55	98,5
Витамин Е	1,50	41,77	10 мг	15	417,7
Витамин РР	3,10	42,72	18 мг	17,2	237,3

Примечание – Средняя суточная потребность в основных пищевых веществах

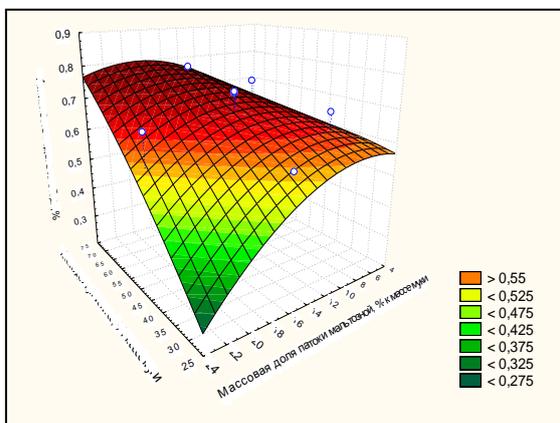


Рисунок 16 – Графическая интерпретация зависимости активности воды безглютеновых хлебцев от массовой доли муки киноа, муки чечевицы и патоки мальтозной

По результатам проведенной оценки возможных параметров и проведения их оптимизации осуществляется кастомизация параметров оптимизированных показателей пищевой ценности в соответствии с поставленными задачами корректировки химического состава и создается алгоритм для конструирования пищевого продукта с учетом его целевого использования.

Комбинирование сырьевых безглютеновых источников и богатых функциональными микро- и макроэлементами дополнительных ингредиентов, позволило получить хлебцы с

На основании анализа комплекса полученных результатов, была разработана компьютерная программа для многокритериальной оценки пищевой ценности разрабатываемых рецептур специализированных и обогащенных хлебопродуктов. На основании анализа массива российского справочника химического состава пищевых продуктов и зарубежных баз данных макро- и микронутриентного состава пищевых продуктов, справочных материалов ФАО/ВОЗ по составу идеального белка, PDCAAS, «идеального» жира и др., программа позволяет производить расчет необходимых критериев пищевой ценности и оптимизировать рецептуру хлебобулочных изделий.

высокой добавленной пищевой ценностью, приятного вкуса, хрустящей и рассыпчатой консистенции, которые могут быть рекомендованы для диетического и профилактического питания широкими слоями населения.

Изучение функциональной эффективности специализированных хлебобулочных изделий: обогащенного хлеба и безглютеновых хлебцев. Проведены испытания обогащенного хлеба и безглютеновых хлебцев на лабораторных животных в соответствии с утвержденной методикой *in vivo*. Исследования проводились в виварии ФГБОУ ВО Ставропольского ГАУ в соответствии санитарно-эпидемиологическим правилами СП 2.2.1.3218-14 и Директивой Европейского парламента и совета Европейского Союза от 22 сентября 2010 г. 2010/63/EU по охране животных, используемых в научных целях.

В опытах на лабораторных животных установлено, что исследуемые виды продукции стимулируют развитие полезной микрофлоры кишечника лабораторных животных, в т.ч. основной группы сахаролитических бактерий – бифидобактерий и лактобактерий, подавляющих активность гнилостных бактерий и обладающих антибактериальной активностью, при этом уменьшается численность условно-патогенной микрофлоры.

Подтверждено, что содержащиеся в рецептуре экспериментальных продуктов функциональные компоненты, снижают уровень сахара в крови, инсулина и триглицеридов. У животных, в рацион которых входили экспериментальные продукты, активизировался метаболизм, снижалось содержание холестерина низкой плотности в крови. Рацион опытных животных был более сбалансирован по пищевой ценности и в большей степени, чем контрольные варианты хлебобулочных изделий, отвечает рекомендуемым нормам потребления биологически активных веществ.

Полученные результаты позволяют рекомендовать безглютеновые хлебцы на основе муки киноа и чечевичной муки и хлеб пшеничный, обогащенный мукой киноа для укрепления адаптивного иммунитета и для профилактики алиментарных заболеваний, а безглютеновые хлебцы - для профилактики аллергической энтеропатии и заболеваний, связанных с непереносимостью глютена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов исследований были сделаны следующие выводы.

1. Проведены сравнительные исследования шести зарубежных и отечественного подвидов и торговых марок семян, муки киноа по комплексу показателей пищевой и биологической ценности, органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям качества для использования в качестве эффективного источника функциональных ингредиентов при производстве хлебобулочных изделий с заданным химическим составом для здорового питания. Был научно обоснован выбор семян киноа ТМ "Продукты XXII века" "белого" цвета, отличающихся высоким содержанием белка, скор незаменимых аминокислот выше 100 %, повышенными массовыми долями: жира с оптимальным соотношением ω -6 и ω -3 жирных кислот, витаминов, пищевых волокон, макро- и микроэлементов, что позволяет осуществлять коррекцию химического состава хлебобулочных изделий.

2. Выявлено влияние дозы внесения муки киноа, не содержащей клейковину, на хлебопекарные свойства муки пшеничной первого сорта.

2.1 Определён гранулометрический состав муки киноа и пшеничной муки, по показателям дисперсности, гладкости, вытянутости частиц, установлено, что оба вида муки позволяют получить совместимое по размерным характеристикам сырье для производства хлеба. Мука киноа обладает низкой активностью α -амилазы, что приводит к повышению числа падения в смеси муки. Добавление муки киноа приводит к снижению содержания сырой клейковины. Учитывая высокую пищевую и биологическую ценность муки киноа, для улучшения показателей качества обогащенных хлебобулочных изделий были разработаны элементы технологии, позволяющие нивелировать негативное влияние

низкой амилолитической активности субстрата и повысить удельный объем и пористость готовых изделий.

2.2 Установлено положительное влияние увеличения массовой доли муки киноа на повышение показателя водопоглотительной способности теста, что способствует формированию его равномерной консистенции и устойчивости, а также увеличению выхода готовых изделий. Выявлено увеличение показателей газообразующей и газодерживающей способности теста при увеличении массовой доли муки киноа. Эти процессы приводят к сокращению продолжительности процесса брожения. Мука киноа имеет более высокий уровень контаминации микроорганизмами, в т.ч. спорообразующими бактериями *Bacillus subtilis*, вызывающими картофельную болезнь хлеба, поэтому для обеспечения микробиологической стабильности готовых изделий рекомендовано дополнительно со спиртовым брожением использовать молочнокислое за счет внесения закваски молочнокислых бактерий, которые являются антагонистами многих видов микроорганизмов, в т.ч. спорообразующих бактерий рода *Bacillus*.

2.3 Для нивелирования негативного влияния муки киноа на показатели пористости и удельного объема хлеба было рекомендовано внесение сухой пшеничной клейковины. Используя математическое моделирование состава рецептуры с применением композиционно униформ-ротатабельного планирования эксперимента по программе "MATSTAT" определена оптимальная дозировка муки киноа 17 - 20 % и сухой пшеничной клейковины к массе пшеничной муки – 2 %.

3. Установлено влияние разных способов производства на технологические показатели теста, продолжительность процесса тестоприготовления, а также на органолептические, структурно-механические и физико-химические показатели качества обогащенного хлеба, позволившие научно обосновать применение новых технологических решений при производстве хлеба и рекомендовать производство хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа безопасным способом с использованием комплексных молочнокислых заквасок и дополнительным внесением 2 % сухой клейковины, что позволяет сократить продолжительность брожения теста по сравнению с опарным на 120 мин, приводит к повышению пористости готового хлеба более, чем на 16%, формоустойчивости – на 46 % и удельного объема хлеба – на 8 %, замедляет процесс черствения мякиша хлеба по сравнению с контролем на 83 г/сут, имеет максимальную устойчивость к заражению хлебной болезнью. По органолептическим показателям отличается от контрольного образца более выраженным вкусом и запахом, имеет эластичную, равномерную и хорошо развитую структуру мякиша.

4. Установлена зависимость показателя «активность воды», характеризующего уровень риска микробиологических повреждений, от технологии производства. Введение в рецептуру хлеба муки киноа приводит к снижению активности воды при использовании всех изучаемых технологий, максимальный эффект достигается в образцах, приготовленных по безопасной технологии с использованием молочнокислой закваски, $A_w - 0,879$ (контроль – $0,956$).

5. Обогащение пшеничного хлеба мукой киноа позволяет повысить его пищевую и биологическую ценность за счет увеличения массовой доли белка (почти на 50 %); полной компенсации содержания лимитирующих аминокислот пшеничной муки (лизина, треонина, метионина+цистеина); увеличения содержания пищевых волокон; магния, фосфора и железа, витаминов B_1 , B_2 , B_6 и способствует высокой степени удовлетворения суточной потребности в функциональных ингредиентах, необходимых для обеспечения здорового питания.

6. Научно обоснован рецептурный состав безглютеновых хлебцев. Внесение функциональных макро- и микронутриентов муки киноа, чечевичной муки, семян льна, подсолнечника и льняного масла, в соотношениях, оптимизированных с применением методов математического планирования эксперимента и алгоритма автоматизированного расчета с применением компьютерной программы, позволяет получить

многокомпонентные безглютеновые хлебцы с улучшенными органолептическими, структурно-механическими свойствами, микробиологической стабильностью, пролонгированным сроком годности. Обогащенные безглютеновые хлебцы сбалансированы по содержанию полноценного белка, удовлетворяют суточную потребность на 31 %, пищевых волокон – на 49 %; Ca, K, Mg, P, Fe – соответственно на 41 %, 23 %, 66 %, 109 %, 68 %; тиамин, рибофлавин и токоферол – соответственно на 79 %, 19 % и 130 %, характеризуются высоким уровнем антиоксидантов, соотношение $\omega 6:\omega 3$ жирных кислот равно 2,2:1 и наиболее приближено к рекомендуемому соотношению по сравнению с зерновыми хлебцами. Безглютеновые хлебцы соответствуют требованиям к продуктам для профилактики аллергической энтеропатии и НГБЦ.

7. Разработана, апробирована и зарегистрирована компьютерная программа для многокритериальной оценки пищевой и биологической ценности разрабатываемых рецептур обогащенных и специализированных хлебопродуктов, позволяющая проектировать и управлять компонентным составом для персонализированного питания.

8. Эффективность проявления функциональных свойств новых видов хлебопродуктов подтверждена в опытах на лабораторных животных. Установлено, что безглютеновые хлебцы и обогащенный киноа пшеничный хлеб стимулируют развитие полезной микрофлоры кишечника, в т.ч. бифидобактерий и лактобактерий, активизируют метаболизм, снижают содержание холестерина низкой плотности, уровень сахара в крови животных, инсулина и триглицеридов. Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанные обогащенные хлебопродукты для укрепления адаптивного иммунитета и профилактики неинфекционных заболеваний, а безглютеновые хлебцы - для использования в рационе больных целиакией. Биотестирование с использованием реснитчатых инфузорий *Tetrahymena* интегральной пищевой ценности и токсичности пищевых веществ хлеба из пшеничной муки, обогащенного мукой киноа также дали положительный результат.

9. Получены положительные результаты промышленной апробации разработанных обогащенных продуктов на базе цеха по производству хлебобулочных изделий ООО «Миржик».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО

Рецензируемые издания

1 Кокорина, Д. С. Характеристика потребительских свойств хлеба из пшеничной муки, обогащенного функциональными ингредиентами муки киноа / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Е. В. Жиркова, Е. В. Невская, Т. Н. Иванова. - Текст : непосредственный // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. - 2020. - №3 (62). - С. 67-74. - 1,40 печ. л. - 0,28 авт. печ. л.

2 Кокорина, Д. С. Формирование показателей качества и пищевой ценности пшеничного хлеба с применением муки киноа / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Е. В. Жиркова. - Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. - 2019. - №2-3 (368-369). - С. 35-38. - 0,47 печ. л. - 0,16 авт. печ. л.

3 Кокорина, Д. С. Изучение биологической ценности крупы киноа различных торговых марок / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Е. В. Жиркова, Т. Н. Иванова. - Текст : непосредственный // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. - 2019. - №5 (58). - С. 81-86. - 0,52 печ. л. - 0,13 авт. печ. л.

Библиографическая и реферативная база данных Scopus

4 Kokorina, D. S. Development of enriched bakery products with biologically active quinoa substances to ensure a healthy diet / L. G. Eliseeva, D. S. Kokorina, E. V. Zhirkova, N. A. Gribova, Yu. D. Belkin. - Текст : непосредственный // International journal of control and Automation. - 2020. - Vol. 13, No 1. - С. 180-194. - 1,30 печ. л. - 0,26 авт. печ. л.

5 Kokorina, D. S. Using functional quinoa ingredients for enhancing the nutritional value of bakery products / L. G. Eliseeva, D. S. Kokorina, E. V. Zhirkova, E. V. Nevskaya, O. A. Goncharenko, A. J. Othman. - Текст : непосредственный // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science, International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials 26-29

February 2020, Voronezh, Russian Federation, Vol. 640 012020. - 2020. - С. 1-9. - 0,65 печ. л. - 0,11 авт. печ. л.

6 Kokorina, D. S. The quality and microbiological stability of quinoa - enriched wheat bread / L. G. Eliseeva, D. S. Kokorina, E. V. Zhirkova, E. V. Nevskaya, S. A. Smirova. Текст : непосредственный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, International Scientific and Practical Forum on Natural Resources, the Environment, and Sustainability 22-23 October 2020, Barnaul, Russian Federation, Vol. 670 012020. - 2020. - С. 1-11. - 0,76 печ. л. - 0,15 авт. печ. л.

7 Kokorina, D. S. Functional foods for a healthy diet and control of the their physiological activity / L. G. Eliseeva, D. S. Kokorina, E. V. Zhirkova, V. V. Martirosyan and V. A. Orobets. - Текст : непосредственный // International Conference on Food Science and Biotechnology (FSAB 2021), AIP Conference Proceedings, Vol. 2419 (1):020009. - 0,76 печ. л. - 0,15 авт. печ. л.

Другие издания

8 Кокорина, Д. С. Формирование потребительских свойств безглютеновых хлебобулочных изделий с пониженной влажностью / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Е. В. Жиркова, Е. В. Невская. Текст : непосредственный // Технологии и продукты здорового питания: сб. ст. XII Национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием. - Саратов: СГАУ, 2021. - С. 179-184. - 0,35 печ. л. - 0,09 авт. печ. л.

9 Кокорина, Д. С. Влияние технологии производства обогащенного хлеба из пшеничной муки на его реологические характеристики / Д. С. Кокорина. - Текст : непосредственный // XXXIII Международные Плехановские чтения. 20 марта 2020 г.: сб. ст. аспирантов и молодых ученых. - Москва: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2020. - С. 188-191. - 0,23 печ. л. - 0,23 авт. печ. л.

10 Кокорина, Д. С. Влияние муки киноа на структурно-механические свойства теста для выпечки хлеба / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Е. В. Жиркова. - Текст : непосредственный // Качество и сертификация на продуктите : сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. - Варна : Наука и Экономика, 2020. - С. 283-292. - 0,63 печ. л. - 0,23 авт. печ. л.

11 Кокорина, Д. С. Производство и характеристика пищевой ценности безглютеновых хлебцев с добавленной пищевой ценностью / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Е. В. Жиркова. Текст: электронный // Региональные рынки потребительских товаров : качество, экологичность, ответственность бизнеса : материалы III Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2021. - С. 54-59. - URL: <https://bik.sfu-kras.ru/ft/LIB2/ELIB/b65/free/i-053417816.pdf> (дата обращения: 03.10.2021). - 0,34 печ. л. - 0,11 авт. печ. л.

12 Кокорина, Д. С. Многокритериальная оценка разрабатываемых специализированных пищевых продуктов / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Н. М. Портнов. - Текст : непосредственный // сб. науч. тр. 20-й Междунар. науч.-практ. конф. "Новые информационные технологии в образовании" (Технологии 1С : перспективные решения для построения карьеры, цифровизации организации и непрерывного обучения). - Москва : 1-С Пабблишинг, 2020. - С. 567-575. - 1,13 печ. л. - 0,38 авт. печ. л.

13 Кокорина, Д. С. Методический подход к автоматической многокритериальной оценке при разработке специализированных продуктов для персонализированного питания / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, А. Д. Отман. Текст : непосредственный // Персонализированное питание : проектирование продуктов и рационов : учебное пособие. - М. : ТД ДеЛи, 2020. - С. 190-211. - 1,79 печ. л. - 0,60 авт. печ. л.

14 Кокорина, Д. С. Формирование портрета безглютеновых пищевых продуктов с заданным химическим составом (на примере безглютеновых хлебцев на основе киноа) / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Е. В. Жиркова. - Текст : непосредственный // Качество, контроль и экспертиза товаров : сб. докладов Круглого стола с междунар. участием. - Варна : Наука и Экономика, 2019. - С. 217-229. - 0,81 печ. л. - 0,27 авт. печ. л.

15 Кокорина, Д. С. Исследование влияния муки киноа на свойства теста и качество хлебобулочных изделий из пшеничной муки / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Е. В. Жиркова. - Текст : непосредственный // Потребительский рынок : качество и безопасность товаров и услуг : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию Орловского гос. ун-та им. И.С. Тургенева (Орел, 21-22 нояб. 2019 г.) - Орел : ОГУ им. И.С. Тургенева. - С. 244-247. - 0,21 печ. л. - 0,07 авт. печ. л.

16 Кокорина, Д. С. Экспертиза качества крупы киноа различных торговых марок / Д. С. Кокорина. - Текст : непосредственный // XXXII Международные Плехановские чтения. 16 апр. 2019 г. : сб. ст. аспирантов и молодых ученых. - Москва : РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2019. - С. 89-94. - 0,35 печ. л. - 0,35 авт. печ. л.

17 Кокорина, Д. С. Оптимизация рецептуры безглютеновых хлебцев при помощи компьютерной программы для ЭВМ / Л. Г. Елисеева, Е. В. Жиркова, Д. С. Кокорина, Н. М. Портнов // Пищевые технологии будущего : инновационные идеи, научный поиск, креативные решения : сб. материалов науч.-практ. молодежной конф., посвященной памяти Р. Д. Поландовой (5 июня 2019 г.). - Москва : Буки-Веди. - С. 99-106. - 0,84 печ. л. - 0,21 авт. печ. л.

18 Кокорина, Д. С. Прогностическая модель формирования потребительских свойств пищевых продуктов / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Н. М. Портнов, Е. В. Жиркова, А. Д. Осман. - Текст : непосредственный // Плехановский научный бюллетень. - 2019. - № 2 (16). - С. 58-73. - 0,93 печ. л. - 0,23 авт. печ. л.

19 Кокорина, Д. С. Значение и роль псевдозерновой культуры киноа, как продукта питания / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Е. В. Жиркова. Текст : непосредственный // Качество и безопасность товаров: от производства до потребления : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию возрождения кафедры товароведения и экспертизы товаров (Москва, 08 февр. 2019 г.). - Москва : Российский ун-т кооперации, 2019. - С. 199-204. - 0,37 печ. л. - 0,12 авт. печ. л.

20 Кокорина, Д. С. Исследование химического состава зерна киноа, различных торговых марок / Л. Г. Елисеева, Е. В. Жиркова, Д. С. Кокорина. - Текст : непосредственный // Наука, образование и инновации для АПК : состояние, проблемы и перспективы: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 25-летию образования Майкопского гос. техн. ун-та, 25-27 окт. 2018 г. - Майкоп : Магарин О. Г., 2018. - С. 301-304. - 0,47 печ. л. - 0,16 авт. печ. л.

21 Кокорина, Д. С. Исследование жирнокислотного состава семян киноа различных торговых марок / Л. Г. Елисеева, Е. В. Жиркова, Д. С. Кокорина. Текст : непосредственный // Инновационно-технологическое развитие пищевой промышленности - тенденции, стратегии, вызовы : сб. ст. 21-й Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти Василия Матвеевича Горбатова. - Москва : ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова, 2018. - С. 79-80. - 0,22 печ. л. - 0,07 авт. печ. л.

22 Кокорина, Д. С. Производство инновационных функциональных продуктов [Электронный ресурс] / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, А. Д. Осман // Priority directions of science and technology development. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Kyiv. 2020. - Pp. 370-379. - Режим доступа: <https://sci-conf.com.ua/iv-mezhhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-priority-directions-of-science-and-technology-development-20-22-dekabr-2020-goda-kiev-ukraina-arhiv/> (дата обращения: 20.11.2021). - 0,31 печ. л. - 0,10 авт. печ. л.

Результаты интеллектуальной деятельности

23 Патент 2720687 Российская Федерация, МПК А21D 13/066. Способ производства безглютеновых хлебцев : № 2019131410 : заявлено 04.10.2019 : опубл. 12.05.2020 Бюл. № 14 / Елисеева Л.Г., Кокорина Д.С., Жиркова Е.В. ; заявитель и патентообладатель : ФГБОУ ВО РЭУ им. Г.В. Плеханова . - 2 с. : ил. - Текст : непосредственный.

24 Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ "Компьютерная программа для проектирования пищевых продуктов с заданным химическим составом и пищевой ценностью" : № 2019663017 : заявлено 27.09.2019 : опубл. 08.10.2019 / Елисеева Л.Г., Кокорина Д.С., Портнов Н.М., Жиркова Е.В. ; заявитель и правообладатель : ФГБОУ ВО РЭУ им. Г.В. Плеханова . - 2 с. : ил. - Текст : непосредственный.