

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»

На правах рукописи

Кокорина Дарья Сергеевна

**Проектирование, технология и товароведная оценка
обогащенного пшеничного хлеба и безглютеновых хлебцев с использованием
функциональных ингредиентов муки киноа**

4.3.3. Пищевые системы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Елисеева Л.Г.

Москва – 2021

Оглавление

Введение	4
Глава 1 Современные тенденции формирования ассортимента и производства хлебобулочных изделий нового поколения для здорового питания	12
1.1 Анализ основных тенденций и научное обоснование обогащения хлебобулочных изделий для здорового питания.....	12
1.2 Товароведная характеристика основных источников сырья и функциональных ингредиентов для производства обогащенных хлебобулочных изделий.....	18
1.3 Современное состояние и основные причины возникновения алиментарных заболеваний, связанных с непереносимостью глютена.....	23
1.4 Анализ рынка и ассортимента безглютеновых пищевых продуктов.....	25
1.5 Характеристика основных источников безглютенового сырья и перспективы их использования для производства пищевых продуктов.....	27
1.6 Международное значение псевдозерновой культуры киноа для обеспечения продовольственной безопасности и перспективы ее использования для производства обогащенных и безглютеновых пищевых продуктов.....	31
1.7 Современные подходы и методы проектирования пищевых продуктов заданного химического состава.....	35
Глава 2 Организация эксперимента, объекты и методы исследований	41
2.1 Организация эксперимента.....	41
2.2 Объекты исследования.....	42
2.3 Сырье и материалы, используемые в экспериментальной работе исследования.....	43
2.4 Методы исследования.....	45
2.4.1 Методы исследования семян и муки киноа.....	45
2.4.2 Методы исследования показателей качества сырья и полуфабрикатов.....	47
2.4.3 Методы исследования готовых изделий.....	48
2.4.4 Специальные методы исследования.....	50
2.4.4.1 Метод определения водоудерживающей способности.....	50
2.4.4.2 Метод определения активности воды в готовых продуктах.....	50
2.4.4.3 Метод определения антиоксидантной активности в готовых продуктах.....	51
2.4.4.4 Метод определения картофельной болезни хлеба.....	51
2.4.4.5 Метод определения микробиологических показателей качества муки и хлебобулочных изделий.....	52
2.4.4.6 Биотестирование интегральной безопасности и относительной биологической ценности хлебобулочных изделий с помощью тест-организмов инфузорий <i>Tetrahymena pyriformis</i>	52
2.5 Методика проведения исследований эффективности хлебопродуктов, обогащенных функциональными ингредиентами муки киноа на лабораторных животных.....	53
Глава 3 Изучение потребительских свойств разных видов семян псевдозерновой культуры киноа, реализуемой на российском продовольственном рынке	56
3.1 Сравнительная органолептическая оценка разных видов семян псевдозерновой культуры киноа, реализуемой на российском продовольственном рынке.....	56
3.2 Сравнительный анализ химического состава исследуемых видов семян киноа.....	60
3.3 Определение микробиологических показателей муки киноа.....	68
Глава 4 Формирование потребительских свойств хлеба пшеничного, обогащенного функциональными ингредиентами муки киноа	72
4.1 Влияние муки киноа на хлебопекарные свойства муки пшеничной первого сорта.....	72

4.2 Формирование потребительских свойств и разработка рецептуры хлеба пшеничного, обогащенного функциональными ингредиентами муки киноа.....	80
4.3 Влияние технологии производства на потребительские свойства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа.....	90
4.4 Изучение влияния муки киноа на микробиологическую устойчивость обогащенного пшеничного хлеба в процессе хранения.....	98
4.4.1 Влияние технологии производства хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа на устойчивость к поражению картофельной болезнью.....	98
4.4.2 Влияние технологии производства на активность воды хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа.....	101
4.5 Биотестирование интегральной пищевой ценности и токсичности пищевых веществ хлеба из пшеничной муки, обогащенного мукой киноа.....	103
Глава 5 Формирование портрета безглютеновых хлебцев с заданным химическим составом.....	109
5.1 Обоснование выбора рецептурных компонентов безглютеновых хлебцев.....	110
5.2 Математическое моделирование оптимальной рецептуры и качества безглютеновых хлебцев.....	113
5.3 Влияние муки киноа на структурно-механические свойства хлебцев.....	120
5.4 Анализ пищевой ценности безглютеновых хлебцев.....	124
5.5 Содержание антиоксидантов в безглютеновых хлебцах.....	130
5.6 Изучение микробиологических показателей качества и активности воды безглютеновых хлебцев.....	131
5.7 Определение сроков годности безглютеновых хлебцев.....	134
5.8 Разработка компьютерной программы для многокритериальной оценки разрабатываемых рецептур специализированных и обогащенных хлебопродуктов (на примере безглютеновых хлебцев и хлеба обогащенного мукой киноа).....	136
5.9 Изучение эффективности проявления функциональных свойств обогащенных хлебобулочных изделий и безглютеновых хлебцев в опытах на лабораторных животных.....	144
Заключение.....	151
Список литературы.....	154
Приложение А (справочное) Патент на изобретение № 2720687 - "Способ производства безглютеновых хлебцев".....	180
Приложение Б (справочное) Математическое моделирование рецептур и технологий хлебобулочных изделий и хлебцев.....	181
Приложение В (обязательное) Акты производственной выработки опытных партий разработанных продуктов.....	182
Приложение Г (справочное) Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.....	183
Приложение Д (обязательное) Порядок установки разработанной программы на компьютер и работы в ней.....	184
Приложение Е (справочное) Расчеты экономической эффективности производства разработанных хлебобулочных изделий.....	186
Приложение Ж (обязательное) Протокол №1 Рекомендации комитета по биоэтике.....	190
Приложение И (обязательное) Разработанные стандарты организации.....	191

Введение

Актуальность темы исследований. По данным Всемирной организации здравоохранения у каждого третьего человека в мире выявлены серьезные нарушения в структуре питания, недостаток физиологически активных компонентов пищи, что является причиной увеличения количества возникающих алиментарных заболеваний. Для профилактики развития алиментарно-зависимых неинфекционных заболеваний ВОЗ была предложена межгосударственная программа в области оптимизации структуры питания населения, на основании которой были разработаны национальные проекты, направленные на мотивацию здорового образа жизни и обеспечение здорового питания населения. Учитывая высокую техногенную нагрузку, ухудшение экологической обстановки, уменьшение плодородия сельскохозяйственных земель, урбанизацию населения, решить проблему продовольственной безопасности в международном масштабе простым наращиванием объемов производства пищевой продукции на современном этапе невозможно. В этой связи ежегодно увеличивается производство обогащенных, специализированных и функциональных продуктов питания.

В международной и российской практике при производстве обогащенных и функциональных продуктов наибольшее внимание производителей привлекают четыре основные группы продуктов массового потребления: хлебобулочные изделия, молочные продукты, безалкогольные напитки и соль.

В результате проведенного анализа пищевого статуса в России установлено, что структура питания большей части детского и взрослого населения не соответствует принципам здорового питания. При этом выявлен недостаток потребления полноценного белка, незаменимых аминокислот, эссенциальных жирных кислот, целого ряда витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, и минорных биологически активных веществ.

Для решения сложившейся проблемы были приняты «Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г.» [173], и национальные проекты «Демография» и «Здравоохранение», которые направлены на профилактику алиментарных заболеваний. Базовые положения претворения в жизнь указанных документов были сформулированы в Постановлении Президиума РАН «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки» [130]. 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 с целью создания программных продуктов для ЭВМ.

По мнению ведущих специалистов в области нутрициологии, в настоящее время наиболее эффективным и социально востребованным является снижение дефицита нутриентов в пищевых продуктах путем их обогащения недостающими биологически активными веществами и функциональными ингредиентами, дефицит которых научно обоснован. Рекомендуется обогащать микро-и макронутриентами в первую очередь продукты массового потребления, регулярно присутствующими в рационе питания, доступными для всех групп населения, в т.ч. мучные и хлебобулочные изделия, молочные товары, напитки и др. [187].

В России объем производства функциональных хлебопродуктов составляет всего 3 % от общего их объема. В этой связи на Международном конгрессе «Лечебно-профилактическое и функциональное хлебопечение «Хлеб – это здоровье», было принято постановление о необходимости увеличения объема производства таких продуктов до 20 %. Этим обусловлена необходимость диверсификации отечественных сырьевых источников востребованных биологически активных веществ [113, с. 124-139; 171, с. 20-24; 186, с. 29-35; 132].

Перспективным источником белка, незаменимых аминокислот, эссенциальных жирных кислот, витаминного и минерального комплекса, пищевых волокон, антиоксидантов и других биологически активных веществ 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 и 2013 год был провозглашен Международным годом киноа. Киноа успешно выращивается более чем в 70 странах мира. В России в 2017 году Минсельхоз включил культуру киноа в Госреестр селекционных достижений. В этой связи в данной работе были изучены потребительские свойства основных видов киноа и разработаны рецептура и технология обогащения пшеничного хлеба мукой киноа.

При производстве функциональных хлебобулочных изделий необходимо учитывать, что более 15 млн человек в России и до 3 % населения в мире не переносят основной белок злаковых культур – глютен, который вызывает алиментарное заболевание – целиакию – аутоиммунную патологию, характеризующуюся стойкой непереносимостью специфических белков эндосперма зерна некоторых злаковых культур (пшеницы, ржи, ячменя) [21; 94]. Как отмечают Никитин И.А. и др. [125] помимо целиакии имеются два заболевания, связанных с реакцией на глютен – аллергическая энтеропатия (иммунологическая реакция на белок пшеницы) и неаутоиммунная неаллергическая непереносимость глютена, или непереносимость глютена без целиакии (НГБЦ), иначе говоря, чувствительность к глютену. Все три заболевания, несмотря на сходство симптомов, различаются в патогенезе. Единственным доказанным эффективным способом профилактики и лечения целиакии, аллергической непереносимости глютена и НГБЦ является исключение из рациона продуктов, содержащих глютен. Состояние больных осложняется тем,

что безглютеновая диета является несбалансированной и неадекватной с точки зрения обеспечения организма макро- и микронутриентами [125].

В связи с ростом числа людей с выраженной иммунной реакцией на глютен, мировой рынок безглютеновых продуктов ежегодно увеличивается и превышает 6 млрд долларов. Отечественный объем производства безглютеновой продукции составляет всего 0,9 % - 1,1 % от этого объема и является импортозависимым, но имеет выраженную тенденцию ежегодного увеличения.

На международном рынке 56 % - 58 % безглютеновых продуктов представлено хлебом и хлебобулочными изделиями. Большим спросом пользуются безглютеновые продукты для быстрого перекуса – снеки, объем продаж которых в 2020 г. увеличился на 75 % - 80 %, большую долю в объеме данных продаж занимают хлебцы хрустящие, имеющие энергетическую ценность почти в 4 раза ниже, чем у хлеба. В России объем производства и продаж хлебцев хрустящих за последний год увеличился на 5 % - 6 %.

С учетом того, что белки зерновых культур относятся к неполноценным и содержат глютен, в данной работе было проведено научное обоснование рецептуры и технологии безглютеновых хлебцев, максимально отвечающих требованиям здорового питания и сбалансированных по содержанию белка незаменимых аминокислот, полиненасыщенных жирных кислот, функциональных микронутриентов, с последующим подтверждением их функциональной эффективности в опытах на лабораторных животных.

При проектировании заданного химического состава хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа, и безглютеновых хлебцев с высоким уровнем пищевой и биологической ценности были использованы методы моделирования многокомпонентных пищевых продуктов и разработана компьютерная программа, на базе которой проведена оптимизация рецептуры новых продуктов.

Степень разработанности темы. 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, А.П. Нечаев, В.М. Поздняковский, В.В. Мартиросян, В.Я. Черных, С.Я. Корякина, Т.Б. Цыганова, И.Г. Белявская, Г.О. Магомедов, Н.М. Дерканосова, К. Gesinski, Y. Hariadi, Peter J. Maughan, H. Storchova, A. Zurita-Silva и другие.

В настоящее время научным обоснованием использования уникального комплекса пищевых ингредиентов псевдозерновой культуры по рекомендации ФАО/ВОЗ занимаются ученые во многих странах. Однако, комплексное научное обоснование эффективного использования киноа, как источника важнейших макро- и микронутриентов для обогащения пищевых продуктов и сырьевого компонента, не содержащего глютен, для производства безглютеновых специа-

лизированных продуктов, не завершено, поэтому требует дальнейшего логического продолжения. Это направление научных исследований является актуальным для совершенствования ассортимента хлебобулочных изделий с заданным химическим составом для профилактики неинфекционных алиментарно-зависимых заболеваний.

Цель и задачи исследования. 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 профилактики заболеваний, связанных с реакцией на глютен (аллергической энтеропатии и непереносимости глютена без целиакии).

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 обогащённого 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 научной специальности 4.3.3. Пищевые системы, опубликованного Высшей аттестационной комиссией 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 (число падения 900 с), 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 влагопоглощительная 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, необходимых для обеспечения здорового питания.

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 полиненасыщенных 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 НГБЦ.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в обосновании эффективности и целесообразности использования биологически активных веществ киноа для производства хлебобулочных изделий с добавленной пищевой ценностью и увеличенным сроком годности. 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.

В соответствии с Директивой Европейского парламента и совета Европейского Союза 2010/63/EU по охране животных, используемых в научных целях, проведены испытания новых видов хлебопродуктов 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, подавляющие активность гнилостной микрофлоры. Содержащиеся в рецептуре экспериментальных продуктов функциональные компоненты, активизируют метаболизм, снижают содержание холестерина низкой плотности, уровень сахара в крови животных, инсулина и триглицеридов. 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 неинфекционных заболеваний, в т.ч. сахарным диабетом, а безглютеновые хлебцы – для использования в рационе больных целиакией. 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 ("Компьютерная программа для проектирования пищевых продуктов с заданным химическим составом и пищевой ценностью", 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", техническая документация реализована в цехе по производству хлебопродуктов ООО "Миржик" г. Москвы. Получен патент "Способ производства безглютеновых хлебцев", заявка от 04.10.2019 № 2019131410. На разработанный "Способ получения обогащенного хлеба" подана заявка на предполагаемое изобретение от 24.09.2021 № 2021128073.

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, безопасности и товароведения пищевых продуктов.

Основные положения, выносимые на защиту. Сравнительная оценка потребительских свойств разных видов семян киноа 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 обогащённого 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. Резуль-

таты исследований обрабатывали с помощью программ Microsoft Excel 2007, MATSTAT, STATISTICA 7.0. Обработку результатов проводили с достоверностью 95 %.

Апробация работы. Основные результаты выполненных исследований были представлены на III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием "Региональные рынки потребительских товаров: качество, экологичность, ответственность бизнеса" (г. Красноярск, 2021 г.); на XII Национальной научно-практической конференции с международным участием "Технологии и продукты здорового питания" (г. Саратов, 2021 г.); на XXXIII Международных Плехановских чтениях (г. Москва, 2020 г.); на Международной научно-практической конференции "Качество и сертификация продуктов" (г. Варна, Болгария, 2020 г.); на 20-й международной научно-практической конференции "Технологии 1С: перспективные решения для построения карьеры, цифровизации организаций и непрерывного обучения" (г. Москва, 2020 г.); на IV Международной научно-практической конференции "Приоритетные направления развития науки и техники" (г. Киев, 2020 г.); на конференции Круглого стола с Международным участием "Качество, контроль и экспертиза товаров" (г. Варна, Болгария, 2019 г.); на научно-практической молодежной конференции "Пищевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения" (г. Москва, 2019 г.); на международной научно-практической конференции "Качество и безопасность товаров: от производства до потребления" (г. Мытищи, 2019 г.); на X Международной научно-практической конференции "Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг" (г. Орел, 2019 г.); на XXXII Международных Плехановских чтениях (г. Москва, 2019 г.); на V Международной научно-практической конференции "Наука, образование и инновации для АПК: состояние, проблемы и перспективы" (г. Майкоп, 2018 г.); на Международной научно-практической конференции, посвященной памяти В.М. Горбатова (г. Москва, 2018 г.).

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

Объём 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 195 страницах, включает 56 таблиц, 29 рисунков и 9 приложений. Список литературы содержит 285 источников, из которых 63 иностранных.

Глава 1 Современные тенденции формирования ассортимента и производства хлебобулочных изделий нового поколения для здорового питания

1.1 Анализ основных тенденций и научное обоснование обогащения хлебобулочных изделий для здорового питания

Хлебобулочные изделия относятся к продукции массового потребления, он удовлетворяет более 30 % суточной потребности в энергии, 25 % - 35 % потребности в белке, являются важным источником витаминов и минеральных веществ. Уровень его потребления составляет около 350-400 г в сутки, а в период экономических кризисов эта величина возрастает. Кроме того, хлеб обладает уникальным физиологическим назначением, так как регулярное его употребление вместе с пищей придаёт пищевой массе хорошо усваиваемую структуру, облегчает процесс переваривания пищи и нормализует деятельность пищеварительного тракта [93, с. 81; 91, с. 82; 92]. Рынок хлебобулочных изделий в настоящее время составляет около 11500 тыс. т, что соответствует около 716 млрд р. в год.

В 2019 году в объеме продаж хлебобулочные изделия из пшеничной муки занимали максимальную долю – 50,7 % или 3,85 млн тонн. Существенно меньшая доля принадлежала хлебобулочным изделиям из смеси пшеничной и ржаной муки – около 25,9 % (1,97 млн т). За 2020 год значительно выросли продажи снеков: хрустящих хлебцев, хлебобулочных полуфабрикатов, сухарных и диетических изделий. По данным BusinesStat [8] объемы потребления хлеба за последние 5 лет снизились почти на 5,5 %. При этом основное снижение объема потребления происходит за счет традиционных видов хлебобулочных изделий, а объем потребления обогащенных и функциональных хлебопродуктов постоянно увеличивается. Однако производство специализированных хлебобулочных изделий увеличивается недопустимо низкими темпами.

Рынок хлебобулочных изделий в России характеризуется узким сегментом функциональных, обогащенных и специализированных изделий. В настоящее время во всех странах мира перед производителями стоит задача увеличения объемов производства хлебобулочных изделий с добавленной пищевой ценностью, обогащенных биологически активными соединениями направленного действия, в т.ч. обогащенных незаменимыми аминокислотами, минеральными веществами, витаминами, флавоноидами, пищевыми волокнами и другими биологически активными веществами хлебобулочных продуктов, а также функциональных изделий, повышающих резистентность организма к разнообразным неблагоприятным факторам и для предупреждения развития неинфекционных заболеваний, обусловленных нарушением пищевого ста-

туса населения с учетом почвенно-климатических и экологических условий производства сырья для производства пищевых продуктов [113, с. 124-139; 169, с. 25-29; 50, с. 872].

В России на рынке хлебопродуктов продукция специализированного, обогащенного и функционального назначения в настоящее время составляет около 3 %. Для удовлетворения потребностей населения принято решение Международного конгресса «Лечебно-профилактическое и функциональное хлебопечение «Хлеб – это здоровье «увеличить объем производства обогащенных и функциональных хлебопродуктов до 20 % от общего объема производства [8; 115, с. 15; 143, с. 67; 156, с. 480-515].

Понятие о функциональном пищевом продукте в международной нутрициологии было введено в Японии в 1984 г., в которой на государственном уровне была принята концепция массового производства обогащенных пищевых продуктов для здорового питания. Большинство развитых стран в настоящее время производят большие объемы широкого и глубокого ассортимента продуктов, обогащенных дефицитными макро- и микронутриентами. Во всем мире обогащение проводится в основном для 4 видов продуктов, предназначенных для массового потребления: хлебобулочные изделия, безалкогольные напитки, молочные продукты и соль.

Наибольший удельный вес в этой группе занимают хлеб и хлебобулочные изделия. За последние годы в Германии объем производства обогащенных хлебопродуктов увеличился в 2 раза, в Англии – почти на 70 %, в США более чем на 35 %. Для обогащения используются цельнозерновое сырье разных традиционных и нетрадиционных культур, плодоовощные добавки, отруби, источники полноценного белка и другие источники биологически активных веществ [25].

Нормативная база производства и контроля за производством обогащенных и функциональных продуктов разработана и постоянно совершенствуется в Японии, США и Евросоюзе. В России установлены четкие определения терминов, определяющие производство и потребление специализированных, функциональных и обогащенных пищевых продуктов в ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения», ГОСТ Р 54059-2010 «Продукты пищевые функциональные. Ингредиенты пищевые функциональные. Классификация и общие требования», ГОСТ 33999-2016 «Продукция пищевая специализированная. Продукция пищевая диетического лечебного и диетического профилактического действия. Термины и определения», ГОСТ 34006-2016 «Продукция пищевая специализированная. Продукция для питания спортсменов. Термины и определения», в ГОСТ Р 55577-2013 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности», ТР ТС 027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания» и ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

В Российской Федерации перечень и нормы потребления пищевых веществ регламентируются МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». Нормируются физиологические потребности в пищевых веществах для различных групп населения: белки, жиры, углеводы, макро- и микроэлементы, витамины, минорные биологически активные вещества, обладающие физиологической активностью.

По данным мониторинга пищевого статуса, проведенного ФИЦ питания и биотехнологии в России, установлено, что дефицит пищевого белка ежегодно составляет более 1 млн тонн, а мире – более 20-25 млн тонн. Употребление полноценного белка в России сократилось за последние годы более чем на 30 % - 35 %. На основании массовых обследований установлен дефицит в рационе питания большей части населения России пищевых волокон, полиненасыщенных жирных кислот, ряда витаминов и минеральных веществ. До 70 % - 80 % населения испытывают недостаток в витамине С, 50 % - 70 % - в витаминах группы В, 35 % - 40 % - бета-каротина.

Основываясь на международном опыте, на современном этапе наиболее эффективным физиологически и психологически приемлемым способом сокращения недостаточности указанных веществ в рационе питания, может служить обогащение пищевых продуктов, что согласуется с государственной политикой в области здорового питания. Практическое осуществление поставленной задачи может производиться только на базе научно обоснованных рекомендаций и методологических подходов.

ФИЦ питания и биотехнологии под руководством Тутельяна В.А. разработали научные и методические подходы к обогащению пищевых продуктов. Спиричев В.Б. обобщил передовые отечественные и зарубежные подходы к обогащению пищевых продуктов и сформулировал восемь принципов обогащения дефицитными микро- и макронутриентами, базирующихся на результатах мониторинга пищевого статуса населения России и на принципах современной теории рационального питания, физиологических норм потребления для предупреждения инфекционных заболеваний, вызванных нарушением структуры питания с учетом фактического регионального обеспечения.

Первый принцип предполагает обогащение микронутриентами, дефицит которых установлен и представляет опасность для развития алиментарных заболеваний практически для всех регионов России, к ним относятся: витамины группы В, в т.ч. фолиевая кислота, витамин С, каротин, железо, йод, кальций, селен и другие минеральные вещества. На основании результатов мониторинга устанавливаются индивидуальные макро- и микронутриенты, дефицитные для конкретного региона.

Второй принцип – обогащение дефицитными нутриентами продуктов, предназначенных для массового употребления взрослым и детским населением к которым в первую очередь относят зерномучные и хлебопродукты, молочные товары, продукты для детского питания, безалкогольные напитки, сахар, соль.

Третий принцип – обогащение не должно вызывать ухудшение органолептических показателей, пищевой ценности, усвояемости и снижать уровень безопасности. Четвертый принцип – при осуществлении обогащения необходимо учитывать возможные вторичные реакции взаимодействия между обогащающими компонентами и основным продуктом. Пятый принцип – обогащение целесообразно, когда введение обогащающего функционального ингредиента обеспечивает 15 % и более удовлетворения суточной потребности, но не превышает верхний допустимый уровень.

Шестой принцип – внесение обогащающих нутриентов должно производиться с учетом их среднестатистического естественного содержания в пищевом сырье с учетом потерь, вызываемых технологией производства с учетом необходимости поддержания на установленном уровне на протяжении всего времени хранения. Седьмой принцип – необходимость маркировки обогащенного пищевого продукта с указанием гарантированного содержания ингредиентов, в т.ч. витаминов и минеральных веществ, обогащение которыми было осуществлено производителем.

Восьмой принцип – эффективность обогащения должна быть подтверждена исследованиями на репрезентативных группах людей и подтверждена способность исследуемых продуктов обеспечивать необходимую эффективность вносимых ингредиентов и подтверждена их усвояемость и безопасность, подтверждено положительное влияния на здоровье человека. Представленные принципы могут использоваться как в комплексе всех представленных требований, так же могут использоваться отдельные принципы [132; 186, с. 29-35; 171, с. 20-24; 113, с. 124-139].

Для формирования алгоритма обогащения хлебобулочных изделий необходимо учитывать уровень соответствия их пищевой ценности физиологическим нормам потребления. Пищевая ценность хлебобулочных изделий в первую очередь определяется содержанием белка, незаменимых аминокислот, полиненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон, витаминами группы В, составом, количеством минеральных веществ и других биологически активных веществ и зависит от вида, технологии получения муки, производства хлеба. Пищевая ценность разных видов хлеба представлена в таблице 1.1 [142, с. 465-468; 155; 74].

Белки хлеба относятся к неполноценным, состав незаменимых аминокислот не отвечает требованиям ВОЗ к «идеальному» белку. Степень удовлетворения физиологической потребности в аминокислотах пшеничного хлеба представлена в таблице 1.2

Таблица 1.1 – Пищевая и энергетическая ценность хлебобулочных изделий (в среднем), г/100 г

Вид хлебобулочного изделия	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал/кДж
Хлеб пшеничный формовой	7,5-8,0	0,8-1,0	46,0-49,2	225/940
Батон нарезной из муки пшеничной 1 сорта	7,4-7,7	2,9-3,2	50,1-51,4	262/1097
Хлеб из ржаной муки	5,6-8,5	1,0-3,3	40,0-42,5	193/807
Сухари сливочные	8,5-9,7	9,1-10,8	66,7-72,9	399/1671
Суточная потребность человека (ф-ла Покровского)	80-100	80-100	400-450	2850 / 11900

Источник: составлено автором по данным [166; 167].

Таблица 1.2 – Содержание незаменимых аминокислот в пшеничном хлебе, г

Аминокислота, мг	Хлеб из муки пшеничной 1 сорта, в 100 г	% покрытия потребности взрослого человека при употреблении 300 г хлеба
Валин	0,351-0,367	30,2
Треонин	0,230-0,243	29,4
Триптофан	0,087-0,089	26,6
Изолейцин	0,291-0,382	25,2
Лизин	0,194-0,205	15,1
Лейцин	0,519-0,585	31,2
Метионин+ цистин	0,301-0,370	16,5
Фенилаланин + тирозин	0,356-0,613	28,7

Источник: составлено автором по данным [166; 170; 167].

Как видно из представленной таблицы 1.2, в белках пшеничного хлеба наблюдается резкая диспропорция незаменимых аминокислот. Особенно дефицитными в хлебе являются такие важные для человека незаменимые аминокислоты, как лизин, триптофан и треонин.

Хлеб из пшеничной муки отличается низким содержанием пищевых волокон, которые способны удовлетворить 10 % установленной суточной дозы потребления (таблица 1.3).

В зависимости от вида хлебобулочные изделия по-разному удовлетворяют потребность человека в минеральных веществах. Содержание макро- и микроэлементов очень сильно может варьировать в зависимости от рецептуры хлебобулочного изделия, зерна и сырья, из которого оно изготовлено (таблица 1.4).

Содержание в зерне минеральных компонентов определяется видом и сортом зерновых

культур, выходом муки, технологией приготовления хлеба, составом используемых добавок, а также качеством воды для приготовления теста [54].

Таблица 1.3 – Содержание пищевых волокон в различных видах хлеба, г/100 г

Вид хлеба	Массовая доля, г/100 г			
	пищевые волокна	не целлюлозные полисахариды	целлюлоза	лигнин
Пшеничный из муки высшего сорта	2,9	2,1	0,8	следы
Цельнозерновой из муки с отрубями	8,4	6,2	1,3	0,1
Ржаной из обдирной муки	5,2	3,7	1,4	0,2

Источник: составлено автором по данным [28].

Таблица 1.4 – Содержание минеральных веществ в различных видах хлебобулочных изделий

Вид хлеба	Содержание минеральных веществ, мг/100 г					
	Na	K	Ca	Mg	P	Fe
Ржаной из обойной муки	609	246	36	47	159	3,8
Ржаной из сеяной муки	420	143	18	21	92	2,9
Пшеничный из обойной муки	356	217	34	67	235	4,4
Пшеничный из муки 2 сорта	374	185	28	53	136	3,6
Пшеничный из муки 1 сорта	378	133	23	35	87	2,1
Пшеничный из муки высшего сорта	499	93	20	14	65	1,1
Рекомендуемая норма потребления, мг/сут	2400	2000	800	400	1200	10-20

Источник: составлено автором по данным [198].

Современные тенденции в обогащении хлеба и хлебобулочных изделий для здорового питания ориентированы на разработку сложных многокомпонентных продуктов с заданным химическим составом с учетом востребованного уровня потребительских характеристик. При оценке потребительских свойств используется дополнительный комплекс показателей, характеризующих функционально-технологические и микробиологические показатели продукции, показатели безопасности, медико-биологические критерии и др. [145].

Для обогащения дефицитных рационов следует использовать продукты массового потребления, доступные для всех слоёв населения и в первую очередь этому соответствуют хлеб и хлебобулочные изделия, для которых установлен перечень дефицитных нутриентов. Актуальность обогащения хлебобулочных изделий необходимыми компонентами обусловлена недоста-

точной пищевой ценностью хлеба и дефицитом функциональных нутриентов в пищевом статусе населения [171, с. 20-24].

1.2 Товароведная характеристика основных источников сырья и функциональных ингредиентов для производства обогащенных хлебобулочных изделий

При выработке любых хлебобулочных изделий, в том числе обогащенных, используется основное и дополнительное сырье. К основному сырью относятся мука пшеничная хлебопекарная, дрожжи хлебопекарные прессованные или сухие, соль пищевая и вода питьевая; дополнительным сырьем являются сахар белый и сахаросодержащее сырье, растительные или животные жиры, молокосодержащие продукты, пищевые добавки и пряности [155]. Функциональные ингредиенты, используемые для обогащения, могут вводиться в рецептуру при частичной замене как основного, так и дополнительного сырья [203; 176, с. 1099-1116; 110, с. 32-34].

Для поддержания стабильного качества хлебобулочных изделий используют улучшители (сухая клейковина, компоненты окислительного действия, ферментные препараты, эмульгаторы), которые не только оптимизируют хлебопекарные свойства муки, но и улучшают функционально-технологические характеристики теста, формируют пористость, повышают пластичность и влагоудерживающую способность теста [9].

Ключевым показателем качества пшеничной муки является содержание клейковины, включающего белки глиадин и глютеина. Клейковина муки должна иметь белый, сероватый цвет, упругая, эластичная, нелипкая, иметь среднюю растяжимость, без постороннего запаха. При этом по ГОСТ 26574-2017 "Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия" для хлебопекарной муки сортов экстра и высшего содержание клейковины должно составлять не менее 28 %, для крупчатки и первого сорта 30 %, для второго сорта 25 % и обойной муки 20 %.

Однако именно наличие этого компонента – клейковины, обуславливает развитие таких заболеваний, как целиакия, аллергическая энтеропатия и НГБЦ, поэтому в последние годы набирают популярность хлебобулочные изделия, в которых, помимо или взамен части пшеничной, используют муку ржаную, кукурузную и другие виды, а также сырье, не содержащее клейковину предложенные в ГОСТ 7045-2017 "Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия", ГОСТ 26574-2017 "Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия".

При проектировании и разработке обогащенных и функциональных хлебобулочных изделий важным этапом является выбор и обоснование сырья, максимально корректирующего химический состав для индивидуальных видов пищевых продуктов, которые являются наибо-

лее эффективными источниками дефицитных нутриентов для обеспечения здорового питания. При этом предпочтение отдаётся добавкам природного происхождения. Нутриенты разделяют на нутрицевтики – добавки, которые обладают пищевой ценностью и парафармацевтики – добавки, которые имеют выраженную биологическую или фармакологическую активность [58; 183].

В качестве сырья для обогащения хлебопродуктов наиболее часто используются источники полноценного белка и незаменимых аминокислот, витаминов и минеральных веществ, полиненасыщенных жирных кислот, токоферолов, каротиноидов, холина, фосфолипидов, пищевых волокон, полифенольных соединений, антиоксидантов, пробиотиков (бифидобактерии, лактобактерии, дрожжи и даже высшие грибы) и целого ряда других биологически активных веществ [38; 174; 175, с. 90-110].

Наиболее распространённым подходом при обогащении хлеба является замена части хлебопекарной муки на обогатители с высоким содержанием комплекса дефицитных макро- и микронутриентов растительного или животного происхождения. В качестве белковых продуктов животного происхождения часто используются продукты переработки молочного сырья – сыворотка, пахта и другие, продукты переработки морепродуктов и животного сырья.

Наиболее часто в качестве растительных источников сырья для обогащения хлебобулочных изделий используются зерно и семена различных сельскохозяйственных культур – рис, просо, сорго, амарант, ямс, лён, люпин, чиа, лебеда, метличка и др. Большое внимание уделяется использованию белково-липидного комплекса бобовых, масличных культур, плодов орехов, кунжута. Для обогащения используются источники богатые активным биологическим комплексом и ферментами: солодовое сырьё, ржаной и рисовый ферментированный солод и экстракты из них, биологически активные вещества чая, цикория, плодово-ягодного сырья. Наиболее часто для обогащения используются разнообразные растительные источники, содержащие пищевые волокна, которые служат эффективными энтеросорбентами, в т.ч. используются отруби зерновых культур и вторичные продукты крупяного производства, плодово-овощные пектин-содержащие компоненты, продукты микробиологического синтеза, в т.ч. полисахариды [134, с. 380-388; 188, с. 183; 88, с. 28; 106, с. 80; 53, с. 142-147; 51; 131; 177, с. 54–55; 52, с.7–11; 246, с. 288–295; 265, с. 92–102; 278, с. 361-366; 58; 29; 89; 31].

Особое значение уделяется обогащению хлебобулочных изделий белком. Для обогащения белком успешно используется включение в рецептуру хлеба муки зернобобовых культур [16, с. 153-159; 97]. Высокобелковым ингредиентом является соя, добавление которой в количестве 15 % вместо пшеничной муки обогащает белком готовый продукт, и увеличивает продолжительность хранения [253, с. 163-168].

Часто в качестве источника полноценного растительного белка используется горох, мука из которого, добавляемая в количестве 20 % - 25 % к массе пшеничной муки оптимизирует белково-углеводное соотношение [16, с. 153-159]. Использование бобов фасоли в качестве добавки позволяет не только обогатить хлебные и хлебобулочные изделия белком [142, с. 465-468], но и положительно сказывается на технологических параметрах теста, повышая его водопоглотительную способность и уменьшая продолжительность замеса [230, с. 213-222].

Агибалова В.С. оптимизировала рецептуру хлеба цельно смолотым зерном сорго и нутовой мукой, это позволило повысить биологическую ценность на 15 % - 20 %. Употребление 100 г обогащённых хлебобулочных изделий обеспечивает удовлетворение суточной потребности в белке на 12,3 %, жире – на 1,3 %, усвояемых углеводах – на 11,9 % и неусвояемых – на 6,5 % [4, с. 11-13; 3, с. 16-19]. С древних пор в земледелии широко используется сорго. Сорго относится к семейству злаковых, представляет собой травянистое растение, внешне напоминает просо, семена от белого до темно-коричневого цвета. Семена отличаются довольно высоким содержанием белка до 13,5 % что не уступает ведущим продовольственным культурам (в пшенице – 11,6 % – 18,5 %; ячмене – 9,0 % – 16,0 %; овсе – 10,0 % – 13,0 %; кукурузе – 8,7 % – 11,5 %). Сорго содержит до 3,5 % жира, включающий насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты. Зерно характеризуется высоким содержанием полифенольных соединений, минеральных веществ, витаминов группы В, РР, Н, холина, каротиноидов. Однако белок сорго не является полноценным – он содержит мало аминокислоты – лизина [83, с. 10-15]. Особенно ценными являются хлебные изделия с добавлением цельносмолотой муки сорго грубого помола, она полезна для лиц, страдающих ожирением и для профилактики инсульта, предохраняет от диабета и раковых заболеваний [86; 5].

Для обогащения хлебобулочных изделий в настоящее время предлагают использовать культуру тритикале – ржано-пшеничный гибрид, с высоким содержанием белка и меньшим количеством глютена [245, с. 123; 180]. При этом продукт, при введении до 60 % тритикале вместо пшеничной муки, имел удовлетворительные характеристики потребительских свойств и отличался оптимизированным углеводно-амилазным и белково-протеиназным комплексом [181; 179, с. 62-64; 180, с. 43-45; 180, с. 31-33].

Еще один функциональный ингредиент, набирающий популярность при производстве обогащённых хлебных изделий – это семена пажитника сенного, он содержит много белка – до 25 %, который отличается высоким уровнем незаменимой аминокислоты – лизина. В муке пажитника находится много растворимых и нерастворимых пищевых волокон, она богата каротином, кальцием и железом. Экспериментально установлено, что для обогащения хлеба может

использоваться до 15 % муки пажитника, при таком содержании повышается пищевая ценность и не снижаются потребительские характеристики готового хлеба [247, с. 229-242].

Большое внимание ученых для обогащения пищевых продуктов, в т.ч. хлебобулочных изделий, привлекает расторопша, богатый источник флавоноидов, флавонолигнанов, макро – и микроэлементов, витамина К и других функциональных ингредиентов, которые имеют высокую антиоксидантную активность и выполняют функцию гепатопротекторов. Использование 6 % - 7 % обогатителя из расторопши при производстве хлеба привело к повышению более чем на 8 % содержания белка, на 18 % жира, на 12 % - витамина В₁, более чем на 30 % витамина Е, повысилось содержание каротина, витамина РР, минеральных веществ и содержание пищевых волокон увеличилось на 12 % - 15 % [4, с. 11-13].

При обогащении хлебобулочных продуктов используют добавки с протекторными свойствами, способные снизить концентрацию и активизировать выведение из организма вредных веществ. Такими свойствами обладают зерновые отруби, цельно смолотые зерна и семена, продукты переработки плодового и овощного сырья, содержащие пектиновые вещества, целлюлозу и другие виды пищевых волокон [42, с. 36-37; 140; 178, с. 43-45; 239, с. 313-325].

При производстве некоторых сортов хлеба, таких как рижский и витебский, используют ржаной солод. Солод позволяет повысить качество хлеба и его вкусо-ароматические показатели и улучшает цвет мякиша хлеба из ржаной и пшеничной муки. В технологическом процессе более эффективно использование водных солодовых экстрактов из зрелого соложенного зерна ржи или ячменя [202; 127].

Для повышения пищевой ценности сырья при производстве муки используют дополнительные способы обработки зерна, в том числе кавитацию и ультразвук [7; 47, с. 49-51; 45, с. 108-111; 46, с. 238-241].

Так, Горшковым В.В. была изучена эффективность обработки зерна пшеницы гидродинамической кавитацией и использование ее в производстве хлеба. Готовый продукт соответствовал необходимым требованиям по влажности и по кислотности, при этом существенно повысилась пористость готовых изделий [45, 46, 47].

Для обогащения ненасыщенными жирными кислотами, фосфолипидами, витаминами и другими важными жирорастворимыми биологически активными веществами в некоторых хлебобулочных изделиях используют животные жиры и растительные масла, их вводят в рецептуру в количестве 10 % - 30 %. Помимо повышения калорийности они улучшают вкусовые качества, повышают биологическую эффективность изделий, пластичность теста и способны немного укреплять клейковину, однако они снижают интенсивность брожения теста [127].

Исследованиями установлено, что целесообразно для обогащения хлебобулочных изделий в региональных условиях в качестве нутрицевтиков использовать местное дешевое витаминизированное сырьё – продукты переработки местных плодов и ягод [39], шиповника и рябины [10], боярышника [77], мушмулы и ежевики [55], экстракт бересты [35], фитосиропов и фитоэкстрактов лекарственных трав [18; 82], корня женьшеня [59], кедрового ореха [17], и даже продуктов пчеловодства [204] и зеленого чая [66].

Никулина Е.О. предлагает для обогащения хлеба использовать обезжиренный облепиховый шрот, при включении которого в количестве 5 % - 7 % увеличивается удельный объем хлеба на 3,0 % - 7,0 %; пористость – на 4,0 % - 6,7 %; структура мякиша становится более равномерной, повышается газообразующая способность, уменьшается скорость очерствения хлеба при хранении. Особенно полезным такой хлеб будет школьникам, а также лицам, проживающим и работающим в экологически неблагоприятных районах [126, с. 40-42].

Перспективным источником для обогащения хлебных изделий является тыква, особенно полезно использование ее пектиновых, минеральных веществ и витаминов [6, с. 24-25; 219; 208, с. 16-19], использование её семян в качестве добавки, активизирует биологические и микробиологические процессы при приготовлении теста, в т.ч. процессы брожения, способствует увеличению пищевой ценности, улучшает структуру коллоидов, способствует увеличению продолжительности хранения [34, с. 37-39].

Особое внимание в последнее время привлекают микроэлементы, доля которых в общем количестве необходимых минеральных веществ недостаточная, однако они имеют большое значение для нормализации обмена веществ, улучшения физиологического состояния, формирования иммунитета. Например, к ним относятся йод, хром, селен и др. Показано, что перспективным является производство хлебобулочных изделий на основе смеси ржаной, полбяной и гречневой муки, подвергнутой биоконверсии, обогащенных органической формой хрома в виде добавки «Витасил-Сr». Недостаток микроэлемента хрома особенно актуален для лиц, болеющих инсулиннезависимым сахарным диабетом 2 типа. Данный микроэлемент регулирует углеводный обмен, является эссенциальным микроэлементом, физиологическая суточная потребность для человека составляет 50 мкг/сутки. Иунихина Е.В. установила, что внесение хрома не оказало отрицательного влияния на внешний вид обогащенного готового хлеба, способствовало улучшению органолептических и физико-химических показателей качества хлеба [76; 23; 43].

В России для большинства территорий установлен дефицит йода, поэтому обогащение продукта массового потребления – хлеба йодом вносит весомый вклад в решение этой проблемы [161; 217; 149, с. 141-143]. Смертиной Е.С. и др. предложено использование в качестве йодсодержащей добавки натурального препарата из бурых морских водорослей «Фу-колам», это

позволило обогатить хлебобулочные изделия йодом и одновременно улучшить их органолептические показатели [168, с. 66-67].

Хлеб относится к продукции массового потребления, поэтому использование традиционного и нетрадиционного сырья, богатого функциональными ингредиентами для обогащения хлебобулочных изделий может эффективно использоваться для повышения их пищевой ценности, снижения дефицита макро- и микронутриентов, способствующих развитию алиментарных заболеваний и позволяет расширить ассортимент и объем производства продукции с заданным химическим составом профилактического и специализированного назначения.

1.3 Современное состояние и основные причины возникновения алиментарных заболеваний, связанных с непереносимостью глютена

Никитин И.А. и др. [125] отмечают, что непереносимость глютена это обобщающий термин, включающий три основных типа заболевания, обусловленных реакцией на глютен: целиакия – аутоиммунная глютеновая болезнь, аллергическая энтеропатия – иммунологическая реакция на белок пшеницы и неаутоиммунная неаллергическая непереносимость глютена, или непереносимость глютена без целиакии. Указанные заболевания хотя во многом и схожи по симптомам, характеризуются рядом принципиальных различий в их патогенезе, что требует индивидуального подхода при их рассмотрении и разработке профилактических мероприятий и питания.

Целиакия – это генетически обусловленное врожденное заболевание, вызванное нарушением функционирования тонкого кишечника, связанного с недостатком фермента, гидролизующего белок – глютен. Заболевание сопровождается воспалением тонкого кишечника, повреждением его эпителия, которое приводит к нарушению процесса всасывания важных питательных веществ и сопровождается потерей массы тела, диареей, вздутием живота, метеоризмом. При запущенном состоянии может нарушаться работа разных органов организма, работа нервной системы, мозга, может разрушаться костная ткань и другие органы, возможно развитие онкозаболеваний. У детей происходит замедление роста и развития организма. Целиакия как у детей, так и у взрослых это в высокой степени инвалидизирующее заболевание с хроническим волнообразным течением и глубокой социальной нагрузкой. Семейные случаи заболевания целиакией составляют около 30 % [32].

В среднем по статистике в мире целиакией болеет свыше 1 % населения и отмечается неуклонный рост этого заболевания, особенно в Европе. Однако медики считают, что по раз-

ным причинам целиакия выявлена не у всех заболевших. Несвоевременность и запаздывание с диагностикой и лечением сказываются на тяжести клинических проявлений. Несмотря на полиморфизм, множественность и сложность симптоматики и диагностирования, современные методы позволяют выявить заболевание на ранней стадии более, чем в 97 % случаев и своевременно назначить диету и лечение [40; 41]. Население разных стран имеет разную генетическую предрасположенность к заболеванию целиакией. В среднем на 100 тысяч населения больны целиакией в Ирландии более 800 человек, в Финляндии около 270, в США – 250, в России – 120, а в Китае всего – 50. Отмечается, что целиакия очень редко встречается среди японцев, китайцев, африканцев. Вероятно, это объясняется наличием в их рационе большей доли безглютеновых продуктов питания [209, с. 18-21].

Накопленные данные позволяют утверждать, что целиакия это генетически детерминированное заболевание. Вследствие генетической предрасположенности, для человека становятся токсичными белки, которые называют обобщенным понятием «глютен», которые включают: спирторастворимые белки: глиадины – белки эндосперма зерна пшеницы, секалины – белки ржи и хордеины – белки ячменя. Основные успехи в лечении целиакии, аллергической энтеропатии и НГБЦ связаны с соблюдением диеты и отсутствием в рационе питания человека белка клейковины [154; 216, с. 110-121; 195; 184, с. 44-48; 32; 21, с. 17-21].

Еще одно из проявлений отрицательной иммунологической реакцией на белки пшеницы является аллергическая непереносимость глютена (аллергическая энтеропатия). В зависимости от реактивности аллергена, проявляется от поражений кожи и желудочно-кишечного тракта до глютензависимой анафилаксии и астмы.

Актуализация производства и расширения ассортимента безглютеновых продуктов обусловлена развитием новых глютензависимых проявлений, отличных по своим характеристикам от целиакии и глютенной аллергической энтеропатии, выражающихся в сложности диагностирования аллергического или аутоиммунного ответа, определяемых как непереносимость глютена без целиакии (НГБЦ). Отличительными чертами таких реакций являются наличие отрицательного теста на аллергические пробы к пшенице (кожного теста, титров IgE к пшенице или глютену) и серологические пробы, специфичные для целиакии, отсутствие морфологических проявлений, характерных для энтеропатии с возможным наличием в крови биомаркеров естественных иммунных реакций к глютену и морфоизменений при биопсии [125].

Согласно требованиям ФАО/ВОЗ в настоящее время к глютенсодержащим продуктам относят зерновые культуры и продукты их переработки пшеницы, ячменя, овса, в т.ч. мука, крупы, кондитерские и макаронные изделия и другие продукты, содержащие эндосперм этих зерновых культур. Кроме того, нужно учитывать возможность попадания в организм «скрытых форм глютена», например, в колбасных изделиях, в панировке, в некоторых консервах. В соот-

ветствии с требованиями международных стандартов Комиссии Кодекс Алиментариус, допустимый уровень содержания глютена в безглютеновом пищевом продукте не должен превышать 20 мг/кг. Симптоматику болезней, связанных с непереносимостью глютена, можно снять или уменьшить соблюдением безглютеновой диеты, поэтому задача стабильного обеспечения больных безглютеновыми продуктами стоит на первом месте для предупреждения заболевания. Однако, это связано с рядом проблем, т.к. глютенсодержащие злаковые культуры и продукты их переработки широко распространены в национальной кухне России, в рационе детского и школьного питания. В России существует недостаточный ассортимент и объем производства безглютеновых продуктов, их высокая стоимость также сдерживают полноценное использование безглютеновой диеты [209, с. 18-21].

Разработка необходимого объема и ассортимента безглютеновых продуктов предоставляет возможность формировать безглютеновую диету для массового потребления и в необходимой степени снизить риски заболевания целиакией. Данным условиям отвечают хлеб и хлебобулочные изделия, которые являются перспективным объектом для формирования российского рынка безглютеновой продукции.

1.4 Анализ рынка и ассортимента безглютеновых пищевых продуктов

Рост заболеваний, связанных с непереносимостью глютена, во всех странах и регионах мира, особенно в Европе, является ключевым драйвером роста объемов производства безглютеновых продуктов. В России количество людей, страдающих этим заболеванием, превысило 14 млн человек, что также определяет рост производства и потребления безглютеновых продуктов [94, с. 121–123]. Анализ рынка безглютеновых продуктов в большинстве регионов отличается выраженной импортной ориентированностью и высокой ценовой категорией продукции, труднодоступных по цене для среднеобеспеченных и нуждающихся слоёв населения [12, с. 93; 109, с. 3-7].

Активное развитие рынка безглютеновых продуктов началось с 2000 года, когда было накоплено достаточно знаний по этиологии и клинике заболеваний, связанных с реакцией на глютен. Дополнительное развитие рынку безглютеновой продукции придала переориентация населения всего мира на здоровое питание, в результате чего данные продукты получили широкое распространение не только среди покупателей с непереносимостью глютена, но и среди обычных потребителей, следящих за своим здоровьем и питанием [78, с. 99-104]. Объём рынка

безглютеновой продукции в мире в 2019 году составил почти 7 млрд долларов, а к 2025 году некоторые эксперты предсказывают увеличение продаж вдвое [109, с. 3-7].

Около 56 % ассортимента международного и национального рынка безглютеновой продукции приходится на хлебобулочные товары. На втором месте, на российском рынке безглютеновой продукции находятся мучные смеси. Однако промышленного производства отечественного безглютенового хлеба практически нет, она импортируется из Польши, Германии, Австрии, Италии. В данном сегменте рынка необходимо решение проблемы импортозамещения, т.к. потребительский спрос на безглютеновый хлеб ежегодно увеличивается. Безглютеновая продукция на рынке отличается высокой ценой, производители объясняют этот факт необходимостью осуществления контроля за содержанием глютена на всех этапах товародвижения, только при исполнении данного условия производитель может маркировать продукцию «Без глютена», «Не содержит глютен».

По данным Д.Э. Абугалыбовой, руководителя Центра содействия улучшению качества жизни людей целиакией «Город без глютена», основателя портала stopgluten.info (г. Москва), на данном этапе доверие потребителя к продукции отечественного производителя низкое, предпочтение отдается импортной, имеющей знакомые знаки, подтверждающие добровольную сертификацию на маркировке: Европейский знак АОЕСС – зачёркнутый по диагонали круга колос зерновой культуры, бренд ТМ Британского общества больных целиакией, аналогичные подходы к маркировке и контролю утверждены в Америке и Канаде. Для предупреждения распространения заболеваемости целиакией за рубежом во многих странах утвержден регламент проведения госконтроля для обеспечения регламента качества жизни [2, с. 16–17].

Среди иностранных компаний на отечественном рынке более всего представлена продукция австрийской компании «Dr. Schär» - лидера европейского рынка по ассортименту безглютеновых продуктов. Компания производит широкий ассортимент хлебобулочных и макаронных изделий, мучных кондитерских товаров, безглютеновые мучные смеси, полуфабрикаты и замороженные безглютеновые изделия для населения разных возрастных категорий, широкого диапазона ценовой политики, включающий около 125 видов продукции.

Также можно отметить испанскую компанию «Gullon», специализирующуюся на производстве печенья и крекеров. Следует также выделить таких производителей, как Glutano (Германия) и Bezgluten (Польша).

Из отечественных компаний следует указать Di&Di (г. Санкт-Петербург), реализующую свои изделия на основе природных ингредиентов под брендом «Умные сладости». Фирма «МакМастер» (Россия) специализируется на выпуске безглютеновых сухих завтраков, безглютеновых каш (кукурузной, рисовой, фруктовой), полуфабрикатов вторых блюд, безбелкового печенья, безглютенового хлеба и макаронных изделий. Безбелковые макаронные изделия произ-

водятся из крахмала и сухих плодоовощных полуфабрикатов, что позволяет расширить ассортимент и повысить органолептические свойства продукции. Главным и существенным недостатком этих продуктов является их высокая цена, снижающая возможность их широкого приобретения [109, с. 3-7; 144, с. 64-67].

В настоящее время происходит переориентация части отечественных предприятий мукомольной промышленности на безглютеновое сырьё. Например, достаточно широкий ассортимент муки, пригодной для производства безглютеновых хлебных продуктов вырабатывают ООО «Арчеда-продукт» (Волгоградская область), ООО «Гарнец» (Владимирская область), ООО «Балтийская мельница» (г. Пушкин, Ленинградская область) и некоторые другие [211, с. 152–157].

Однако, несмотря на то, что на отечественном рынке существует мало предприятий, производящих продукцию для больных целиакией, у России имеется большой потенциал развития на рынке безглютеновых продуктов, который обусловлен наличием отечественных источников безглютеновых компонентов, позволяющих обогащать хлебобулочную и другие виды продукции широким спектром питательных и биологически активных веществ [144, с. 64-67].

Для развития отечественного рынка безглютеновой продукции необходимо формирование банка отечественных ингредиентов, разработка инновационных технологий производства, оптимизация ассортимента, направленных на удовлетворение спроса потребителей на безглютеновую продукцию по доступным ценам.

1.5 Характеристика основных источников безглютенового сырья и перспективы их использования для производства пищевых продуктов

Основными безглютеновыми сырьевыми источниками являются: рис, гречка, кукуруза, просо (пшено), сорго, итальянское просо (чумиза), саго, амарант, киноа, монтина, тэфф; корнеплоды – картофель, батат, ямс, тапиока, маниока; бобовые – горох, соя, фасоль, вика, чечевица, нут, маш; орехи, каштаны, овощи и фрукты, мясо, рыба, яйца, молоко и натуральные молочные продукты, твёрдые сыры, растительное и сливочное масло [43; 209, с. 18-21].

Разработаны технологии производства хлебобулочных и кондитерских изделий путем замены пшеничной муки на безглютеновую муку, однако ученые столкнулись с проблемой изменения хлебопекарных и технологических характеристик нового безглютенового сырья, изменения влагоудерживающей способности, валориметрической оценки, устойчивости теста, что

определило необходимость модернизации технологического процесса производства [26; 120; 29].

Мысаков Д.С. (2016) [120] провел анализ потребительских свойств и химического состава основных видов безглютеновой муки для оптимизации технологии производства хлеба. Самое высокое содержание белка и аминокислот было установлено в соевой муке. Содержание аминокислот в соевой муке превышает 43000 мг/100г, в рисовой муке – 7000 мг/100г и минимальное количество в кукурузной – около 65000 мг/100г. Использование данного безглютенового сырья предполагает дополнительное введение в рецептуру сухого картофельного или другого вида крахмала. В зависимости от вида изделия производится оптимизация соотношения сырьевых ингредиентов [120]. Ценной бобовой культурой, используемой для приготовления продуктов для лиц с неперевариваемостью клейковинного белка, является люпин, который как бобовая культура является ценным источником белка и богата всем комплексом биологически активных соединений, что позволяет использовать его для обогащения пищевых продуктов и производства безглютеновых хлебобулочных изделий [63, с. 19-20; 111, с. 42-44].

Большое внимание в последние годы в России уделяется использованию безглютенового источника - амаранта, содержащего полноценный белок от 13 % до 18 % (содержит незаменимые аминокислоты до 35 %), который отличается высоким содержанием лизина, тирозина, фенилаланина. В амаранте ПНЖК составляют 45 % - 50 % от суммы липидов, содержатся ценные пищевые волокна, и богатый витаминно-минеральный комплекс, в т.ч. токоферолы, сквален, полифенолы, обуславливающие высокую антиоксидантную активность [13, с. 32-38; 14, с. 91-99; 192; 141; 124]. Сравнительный анализ пищевой ценности муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и амарантовой муки приведены в таблице 1.5.

По назначению сорта амаранта делят на зерновые, овощные, кормовые и декоративные. [68]. Зерновые сорта рекомендованы для производства безглютеновых пищевых продуктов. Высокая пищевая ценность амаранта позволяет использовать его для производства безглютеновых хлеба и мучных кондитерских изделий – кексов, печенья, пряников, вафель и т.д. [259, с. 474-482].

Высокой пищевой ценностью обладает полуобезжиренная льняная мука (таблица 1.6).

Внимание ученых и производителей направлено также на использование семян льна для производства безглютеновых продуктов. Относительно высокое содержание белков позволяет использовать льняную муку как белковый компонент при изготовлении безглютеновых продуктов в сочетании с соевым белком, картофельным крахмалом и ксантановой камедью [190].

Специфическим сырьём на отечественном рынке является высушенная мякоть плодов рожкового дерева – кэроб. Кэроб характеризуется низким гликемическим индексом и отличает-

ся высоким содержанием пищевых волокон, эффективно нормализует кишечную микрофлору, содержание холестерина, активизирует работу многих систем в организме.

Не менее экзотическим продуктом является чуфа, которую называют «земляным миндалём» из-за того, что клубни этого растения по вкусу напоминают миндаль. Чуфа рекомендуется для лиц с сахарным диабетом, снижения заболевания желудочно-кишечного тракта, очищения организма от радионуклидов. Мука из чуфы добавляется в хлебные и кондитерские изделия, хорошо сочетается в безглютеновых продуктах с амарантовой и нутовой мукой [109, с. 3-7].

Таблица 1.5 – Сравнительная оценка пищевой ценности пшеничной хлебопекарной муки первого сорта и амарантовой муки

Показатель пищевой ценности		Мука пшеничная первого сорта	Мука амарантовая
Белки, г		10,6-11,5	13,8-16,0
Углеводы, г	крахмал	67,1-67,8	54,5-66,1
	моно- и дисахариды	0,5-1,2	2,5-3,5
Жиры, г		1,3-1,5	6,5-7,0
Пищевые волокна, г		4,0-4,9	4,2-6,6
Зольность, г		0,7-0,81	0,8-1,8
Макроэлементы, мг	кальций	25,0	96,0
	калий	175,0	177,0
	магний	43,0	50,0
	фосфор	114,0	125,0
Микроэлементы, мг	железо	2,0	28,0
	марганец	1,1	4,0
	цинк	1,0	4,0
	медь	0,18	2,4
Витамины, мг:	тиамин	0,25	0,3
	рибофлавин	0,08	0,29
	биотин	0,003	0,05
Биологическая ценность, %		43,5	70,8

Источник: составлено автором по данным [198; 199; 71, с. 46-51; 68, с. 67-73; 213, с. 57-63].

Хорошими потребительскими свойствами обладали безглютеновые сахарное печенье и кексы, приготовленные на основе кукурузной и рисовой муки с добавлением сушеных яблок и красноплодной рябины, которые обогатили рацион больных витаминами, пектиновыми и минеральными веществами и имели более длительный срок хранения готовой продукции [99]. Разработана технология сахарного печенья с использованием амарантовой, гречневой, кукурузной муки, картофельного крахмала (до 20 %) и растворимых пищевых волокон (полидекстрозы). Это позволило получить дополнительные технологические преимущества: сократить потери влаги в продукте, повысить сохранность, улучшить текстуру, повысить антиоксидантную ёмкость [124].

Таблица 1.6 – Пищевая ценность льняной полуобезжиренной муки

Показатель пищевой ценности	Массовая доля в 100 г	
	мука полуобезжиренная льняная	мука пшеничная высшего сорта
Белки, г	32,5-36,5	9,7-10,8
Жиры, г	8,1-14,9	0,9-1,7
Зола, г	5,3-6,6	0,5-1,4
Пищевые волокна, г	30,0-33,7	0,1-2,5
Суммарные растворимые полисахариды, % на сухое вещество	30,1-35,4	63,4-67,7
Водорастворимые углеводы (моно- и олигосахариды) после инверсии, % на сухое вещество	4,31-5,3	1,8-2,2
Фракции белков, % от содержания сырого протеина		
Альбумины – водорастворимые	33,8-45,3	5,2-7,7
Глобулины – солерастворимые	15,2-20,3	12,6-36,6
Проламины – спирторастворимые	0,5-1,1	35,6-38,4
Глютелины – щелочнорастворимые	11,7-28,9	17,3-28,2
Нерастворимый остаток	17,4-26,8	8,7-9,3

Источник: составлено автором по данным [190; 210, с. 90-100].

Вишняк М.Н. предлагает для производства безглютенового печенья использовать гречневую, рисовую и кукурузную муку и их смеси в разном соотношении. Клинические испытания не выявили симптоматичных проявлений целиакии у респондентов при потреблении безглютенового печенья [37]. Парахина О.И. [139] предложила при приготовлении хлеба без глютена в качестве структурообразователей использовать цитрусовые пищевые волокна или пектин, а

также порошок рябины, что позволило повысить газообразующую и газодерживающую способность, улучшить физико-химические и органолептические показатели, повысить микробиологическую стойкость, и снизить риски развития картофельной болезни хлеба. Анализ литературных данных показывает, что разработаны научно обоснованные предложения по расширению сырьевых ресурсов для производства безглютеновых пищевых продуктов, адаптированы технологии производства и подготовлена необходимая научно-техническая база, позволяющая расширить ассортимент и объемы производства безглютеновых продуктов отечественного производства.

1.6 Международное значение псевдозерновой культуры киноа для обеспечения продовольственной безопасности и перспективы ее использования для производства обогащенных и безглютеновых пищевых продуктов

Учитывая высокую техногенную нагрузку, ухудшение экологической обстановки, уменьшение плодородия сельскохозяйственных земель, урбанизацию населения, решить проблему продовольственной безопасности в международном масштабе простым наращиванием объемов производства пищевой продукции на современном этапе невозможно [151]. Поэтому актуальным направлением является диверсификация сырьевых ресурсов с высокими адаптивными агробиологическими особенностями.

Одним из таких ресурсов, благодаря своим высоким пищевым, агрономическим и экономическим характеристикам является псевдозерновая культура киноа, которая рассматривается Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) как важный фактор при решении проблемы продовольственной безопасности в мире [56, с. 10-11]. На специальном заседании 66 сессии Генеральной Ассамблеи ООН отмечено, что сельскохозяйственная культура киноа, благодаря своей высокой питательной ценности и способности адаптироваться к любым климатическим и географическим условиям, может внести огромный вклад в обеспечение продовольственной безопасности в мире. 2013 год был провозглашен ООН Международным годом киноа [267]. Компания Bioversity International, занимающаяся исследованиями в области сохранения и использования биоразнообразия сельского и лесного хозяйства, рекомендовала осуществлять селекцию и производство культуры киноа по всему миру, как уникального и перспективного стратегического источника полноценного питания населения. Киноа отличается высокой адаптационной способностью и приспособляемостью к почвенно-климатическим условиям, устойчивостью к засухе, к высокой и низкой температуре, повы-

шенной засоленности почвы, к биологическим повреждениям и другим абиотическим воздействиям [229; 153, с. 24-32; 22, с. 19-24; 1, с. 103-106].

Киноа в настоящее время выращивается более чем в 70 странах мира. Большие объемы производства киноа наблюдаются в Северной и Южной Америке, в большинстве стран ЕС, в Египте, в Индии, Марокко, Кении и др. В России также ведется адаптация культуры к региональным условиям, выращивание ведется на юге России, в центральной ее части и в Подмосковье. В результате Минсельхоз в 2017 году включил культуру киноа в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию в России [48, с. 25; 56, с. 10-11; 271; 218, с. 54–59].

Проведенные исследования позволили установить положительное влияние киноа на здоровье людей. Использование киноа в рационе питания позволяет регулировать углеводный и жировой обмен, нормализует работу сердечно-сосудистой системы и печени, позволяет снижать уровень сахара в крови, общий холестерин, способствуют снижению рисков ожирения [268, с. 333–338; 282, с. 161–167]. Исследования Patel S. (2015) подтверждают, что киноа предотвращает ожирение, имеет антигликемические и антидиабетические свойства, действует как усилитель памяти и когнитивных процессов, это мотивирует шире применять эту культуру в пищевой промышленности [269, с. 91-100].

Киноа является богатым источником полноценного белка. Его содержание в зависимости от сорта и региона производства может колебаться от 12 % до 22 %. Белки отличаются высокой усвояемостью. Изучение фракционного состава белков семян киноа показало наличие четырех фракций – альбумина, глобулина, проламина и глютелина [270, с. 148–158; 272; 255, с. 35–68; 280, с. 1593-1600; 30]. Белок киноа характеризуется высокой биологической ценностью, ее аминокислотный состав близок к составу "идеального" белка, рекомендованного ФАО/ВОЗ. Количество незаменимых аминокислот более, чем 2 раза превосходит их содержание в пшенице, в т.ч. по содержанию метионина в 2 раза и по лизину и триптофану в 3 раза. Содержание незаменимых аминокислот в семенах киноа составляет: валин – 1752 мг/100 г, изолейцин – 1673, лейцин – 2735, лизин – 390, метионин – 685, треонин – 1551, триптофан – 652, фенилаланин – 1621, аргинин – 2605 [271; 244, с. 25–34; 261, с. 190-193; 251; 275, с. 1-11; 254, с. 211–219; 255, с. 35–68; 227, с. 239-245; 276, с. 225-230]. Белок киноа может обеспечить аминокислотами (от потребности взрослого человека) гистидином – на 180 %, на 274 % изолейцином, на 338 % лизином, на 212 % метионин + цистеином, на 320 % фенилаланин + тирозином, на 331 % треонином, на 228 % триптофаном и на 323 % валином [283, с. 2541–2547]. Перевариваемость белка *in vitro* киноа, составляет от 75 % до 80 % [30].

Другой важной особенностью киноа является отсутствие глютена, который является причиной алиментарных заболеваний, связанных с реакцией на глютен (целиакии, аллергической энтеропатии и НГБЦ) [250, с. 167–177; 218, с. 54–59].

В составе киноа содержится 55 % - 60 % углеводов, среди которых доминирует крахмал, составляющий от 50 % до 60 % от суммы углеводов. Крахмал включает до 30 % амилозы и до 70 % амилопектина. Зерна крахмала небольшого размера – 1,3 - 3,2 мкм. В составе углеводов 3 % - 7 % занимает сахароза, 3,0 % - 3,5 % – пектин и 1,5 % – 2 % гемицеллюлоза. Перевариваемость крахмала составляет 65 % - 70 % [251; 226, с. 872-876; 272; 30; 276, с. 225-230]. Высокое содержание крахмала позволяет рассматривать киноа как источник безглютеновой муки для производства хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий [263, с. 152–156; 274, с. 179-189; 223, с. 73–87; 281, с. 132–138]. Устойчивость крахмала киноа к замораживанию-оттаиванию делает его идеальным загустителем в замороженных продуктах. Мука киноа содержит большое количество D-ксилозы и мальтозы, и низкое содержание глюкозы и фруктозы, что позволяет использовать его в солодовых напитках [283, с. 2541–2547].

Киноа содержит от 2 % до 9 % жиров, в состав которых входит высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот, жирорастворимых витаминов и биологически активных соединений. До 60 % жиров представлено дефицитными жирными кислотами: олеиновой (ω -9), линолевой (ω -6) и линоленовой (ω -3), которые составляют 25 % - 27 %, 48 % - 51 % и 4 % - 5 % соответственно. ПНЖК играют важную роль в регуляции метаболизма, синтезе простагландина, в профилактике тромбозов и атеросклероза, укрепляют иммунитет [251; 272; 30]. Жиры киноа характеризуются высоким содержанием токоферолов [274]. За счет высокого содержания токоферола, фитостеролов и других предшественников семейства стероидов, жиры киноа обладают высокой антиоксидантной активностью, предупреждают заболевания сердечно-сосудистой системы и рака [240, с. 154–160].

Киноа содержит широкий спектр биологически активных веществ. Многие авторы отмечают высокое содержание антиоксидантов [275; 255; 238], активность которых обусловлена содержанием флавонольных гликостероидов [285], фенолы [273], танинами [275], бетаины [231], терпеноиды [256] и экдистероидами [232], которые способствуют снижению уровня холестерина [235].

A. Bhargava et al. (2006), A. Vega -Galvez et al. (2010) указывают также, что в киноа жиры (4 % - 9 %), белки (в среднем 16 % - 18 %) и углеводы (65 %) в высокой степени сбалансированы между собой и обладают высокой пищевой ценностью [223; 283].

В семенах киноа содержится большое количество минеральных веществ, в первую очередь железа и кальция, калия и магния, марганца и цинка и др. [238; 257; 30]. По уровню макро- и микроэлементов и витаминов мука киноа превосходит зерновые аналоги. Изучая в киноа состав макро- и микроэлементов, Y. Konishi, S. Hirano, H. Tsuboi, M. Wada (2004) установили, что фосфор (в составе фитиновой кислоты), калий и магний, в основном, локализируются в эмбриональной части. Кальций содержится в клеточной стенке и почти не встречается в эмбриональ-

ных тканях, поэтому в процессе приготовления семена необходимо осторожно подвергать механической обработке. Сера находится в основном в эмбриональной ткани в связанном с белками состоянии [257; 258].

Киноа является хорошим источником витаминов [274; 283; 281]. Содержание витаминов в семенах киноа составляет (мг/100 г сухого вещества): ретинола – 0,1-0,5; токоферола – 2,44-5,8; тиамина – 0,3-0,6; рибофлавина – 0,2-0,5; ниацина – 0,2-1,5 и аскорбиновой кислоты – до 10. Содержание фолиевой кислоты в киноа 4 раза больше, чем в традиционных злаковых культурах [272; 30; 278].

Repo-Carrasco-Valencia, RitvaAnn-Mari, Lesli Astuhuaman Serna (2011) оценив 4 разновидности киноа на содержание пищевых волокон установили, что экструзия способствовала увеличению растворимых пищевых волокон за счет разрыва гликозидных связей [276].

Некоторые сорта киноа могут содержать сапонины. Это тритерпеновые гликозиды, защищающие растение от травоядных. В семенах киноа обнаружено 43 разных сапонинов [249]. Содержание этих гликозидных тритерпеноидов варьирует от 0,2 г/кг сухого вещества в видах со сладковатым привкусом в зернах и до 11,3 г/кг в горьких видах. Поэтому для обогащения пищевых продуктов необходимо использовать сорта с низким содержанием сапонинов, которые не ощущаются во вкусе [263].

Bermejo J.E.H., León J. (1994) и др. указывают, что благодаря высокой питательности и универсальности вкуса из зерен и зеленой массы киноа готовят разнообразные блюда, включая пирожные, сладости, десерты, сухие завтраки. При включении в тесто муки киноа от 15 % до 20 % производят хлеб, кондитерские изделия, такие как печенье, кексы, булочки, блинчики, торты и др.). Показана возможность добавления в рецептуру муки киноа в количестве от 10 % до 20 % в хлебобулочные изделия и до 40 % в макаронные изделия, в рецептуру тортов до 60 % [225; 272; 263; 274; 223; 281; 218; 242; 22].

В пищевой промышленности используются зерна киноа в различной обработке. Из муки и цельных зерен киноа могут быть изготовлены практически все мучные кондитерские, хлебобулочные, макаронные изделия, сухие завтраки. Зародыши семян киноа могут быть отделены от основной части семени и использованы в концентрированной форме в детском, спортивном, геронтологическом питании, питании беременных и кормящих женщин [212; 128, с. 69-74; 22, с. 19-24].

Alvarez-Jubete L. Et al. (2010) указывает, что основной проблемой технологии приготовления безглютеновых продуктов, таких как хлеб, бисквит, и макаронные изделия, является отсутствие клейковины [222, с. 437-445]. Для улучшения текстуры безглютенового хлеба рекомендуется добавлять органические соли кальция, гидроколлоиды, пектины и другие вещества – улучшители [252, с. 497–500].

Изучая химический состав Cristina M. Rosell, Raquel Garzon (2014) установили, что хлебобулочные и кондитерские изделия, произведенные с использованием киноа, не требуют внесения дополнительных структурообразующих компонентов, не содержат клейковины и обогащены естественным образом макро- и микроэлементами, витаминами и пищевыми волокнами. Использование этих изделий не вызывает присущее для людей на безглютеновой диете дисбаланса поступления питательных веществ в организм [277, с. 1-28; 267, с. 257–271].

Исследования показали, что при добавлении в обогащенное мукой киноа тесто отрубей киноа, тесто приобретало лучшие реологические свойства и характеризовалось более высокой влагоудерживающей способностью, способствовало удержанию углекислого газа, повышало протеолитическую активность, и было более эластичным, по сравнению с продуктами из кукурузной и рисовой муки. Включение отрубей в количестве более 40 % усилило горечь и ухудшило общую вкусовую оценку хлеба [237, с. 767–775].

Установлено, что внесение в рецептуру муки киноа в количестве 5 %, 10 %, 20 % и 30 % от пшеничной муки не оказало заметного влияния на вкус печенья [263, с. 213-22; 224]. Разработана технология производства макаронных изделий из муки киноа [279, с. 339–349].

Анализ представленных источников показывает, что при использовании муки киноа для приготовления хлебобулочных и других кулинарных изделий требуется дальнейшее уточнение рецептур и технологии производства для формирования необходимого уровня вкусовых и пищевых характеристик готовой продукции, это позволит расширить ассортимент обогащенной и безглютеновой продукции и обеспечить население полноценными продуктами питания с улучшенными свойствами.

1.7 Современные подходы и методы проектирования пищевых продуктов заданного химического состава

Оптимизация структуры питания в соответствии с современными требованиями нутрициологии является важнейшим элементом обеспечения здорового питания, требования к которому сформулированы в «Стратегии повышения качества пищевой продукции до 2030 года» [174].

Обеспечение заданного химического состава пищевых продуктов возможно только при использовании методов моделирования многокомпонентных пищевых продуктов с использованием цифровых технологий для разработки компьютерных программ для проектирования нутриентного состава пищевых продуктов. В теории сбалансированного питания Покровского А.А.

[146] предполагается включение в рацион питания необходимые организму питательных веществ, к ним относятся белки, жиры, углеводы, витамины, минеральные вещества и вода. С помощью программы по проектированию пищевых продуктов можно создавать сложные многокомпонентные продукты с заданным комплексом показателей. Проектирование предусматривает разработку цифровых методов для обеспечения кастомизации параметров оптимизации химического состава и потребительских свойств продукта в соответствии с установленными требованиями к физиологическим нормам потребления индивидуальных макро- и микронутриентов и разработки алгоритма конструирования инновационной рецептуры в зависимости от целевого назначения продукта, новых тенденций обеспечения здорового питания, установленных критериев и параметров продукта в конкретной ситуации и пожеланий потребителя.

Моделирование многокомпонентных пищевых продуктов для здорового питания позволяет на этапе проектирования обеспечить заданные характеристики пищевой ценности. В отечественной и зарубежной научной литературе накоплен значительный объем знаний о составе пищевых продуктов, позволяющий расчетным путем оценивать пищевую ценность разрабатываемого продукта, производить оптимизацию его состава [23]. При проектировании обогащенных пищевых продуктов используется принцип многокомпонентности сырьевых источников, что позволяет создавать многокомпонентные пищевые продукты и регулировать химический состав конечного продукта в соответствии с современными принципами гигиены здорового питания.

Усовершенствование состава разрабатываемого продукта необходимо при разработке и оптимизации рецептуры для технологии производства новых видов продуктов заданного состава и получения требуемого уровня потребительских свойств, достижения наилучших показателей по комплексу объективно измеряемых характеристик пищевой ценности. Среди таких показателей наиболее информативными и опробованными являются оценка полноценности состава нутриентов, в т.ч. количества и качества белка, жира, витаминов, минеральных веществ и важнейших БАВ. Для оценки белка сложился международный консенсус по использованию в этих целях аминокислотного сора, для которого сравнительно недавно были опубликованы усовершенствованные методики (PDCAAS, DIAAS), получившие международное признание. Для оценки качества жиров также опубликован ряд методик оценки, позволяющих объективно обосновать числовые показатели качества и как следствие – выполнять оптимизацию рецептурного состава разрабатываемого продукта [79, с. 39-42; 104, с. 247-250].

При наличии более чем одного критерия оптимизации требуется решить вопрос комбинирования этих критериев, определения их приоритетности и взаимного соотношения.

В настоящее время отсутствуют официально утвержденные методики и научный консенсус по методике проектирования заданного химического состава для индивидуальных видов

пищевых продуктов. В этой связи требуется создание системы кастомизации параметров оптимизации химического состава и потребительских свойств продукта в соответствии с заданными параметрами, по результатам применения которых должен устанавливаться алгоритм действий, направленный на конструирование инновационной рецептуры в зависимости от целевого назначения продукта, новых тенденций обеспечения здорового питания, установленных критериев и параметров продукта в конкретной ситуации, пожеланий заказчика.

Шнейдер Д.В. (2012) предлагает для создания безглютеновых продуктов с заданным химическим составом разрабатывать аспекты единого формирования рецептур безглютеновых продуктов. Для этого автором разработана программа расчёта рецептур, включающая систему матриц, сформированную на основе таблиц химического состава и калорийности российских продуктов питания и сырья для производства безглютеновых продуктов, а также данные об изменении содержания питательных веществ в процессе производства и приготовления изделий [215].

Основным направлением исследований являлась разработка методологической базы для мониторинга, анализа и систематизации научных принципов моделирования и проектирования с применением цифровых технологий поликомпонентных пищевых продуктов с заданными характеристиками химического состава с использованием функциональных ингредиентов на основе отечественных сырьевых ресурсов. Проведен анализ источников и сведений о нутриентном составе и методах проектирования новых пищевых продуктов, установлено, что в комплексе решаемых задач разработанные подходы не имеют точных аналогов, обоснована номенклатура нутриентов, методология принципов обогащения пищевых продуктов функциональными ингредиентами, разработаны действующие компьютерные модели, составлена научно-информационная база нутриентного состава для проектирования многокомпонентных пищевых продуктов по расширенному составу нутриентов, с данными из отечественных и зарубежных источников.

Главным принципом, которым необходимо руководствоваться при проектировании пищевых продуктов комбинированного сырьевого состава, является принцип сбалансированного питания. Понимание необходимости комбинирования заданного состава химического состава пищевых продуктов или осуществление ограничения отдельных питательных элементов и ингредиентов, влечет за собой направленное изменение рецептурных смесей, или проведение направленного обогащения конкретных видов пищевых продуктов для осуществления которого формируется набор эссенциальных нутриентов, с помощью которых можно добиться необходимого физиологического, терапевтического или лечебного эффекта [116].

С развитием цифровой технологии и объектно-ориентированных языков программирования при разработке новых рецептур хлебных и хлебобулочных изделий разработаны методы

осуществления компьютерного моделирования, позволяющие осуществлять анализ, на основании которого производить прогнозирование и проектирование многокомпонентных пищевых продуктов с учетом комплекса факторов, влияющих на формирование пищевой ценности и физиологической эффективности новых видов продуктов с учётом потребностей целевых групп (наличие определённых заболеваний, например, обусловленных реакцией на глютен, возрастных категорий – до года, от года до 3 лет и т.д., спортсменов разной направленности и прочее) и качественно-функционально-технологических свойств с учётом синергического эффекта [145].

Основным методом проектирования пищевых продуктов в современной науке и практике пищевого производства выступает моделирование, позволяющее проектировать этапы создания функциональных пищевых продуктов заданного химического состава в виде установленных моделей, учитывающих обоснованные требования к проектируемому продукту и реальный состав существующего аналога, учитывающего изменения, которые претерпевает продукт на этапах производства, хранения и потребления. В этом случае важнейшим элементом такого проектирования выступают установленные критерии в национальных и международных базах данных, позволяющие оптимизировать состав и соотношение используемых ингредиентов, устанавливать научно-обоснованные принципы моделирования, их количественные характеристики, которые соответствуют установленным требованиям сбалансированного питания и отвечают востребованному уровню потребительских свойств.

Таким образом, в основе эффективной рецептуры при проектировании многокомпонентных пищевых систем лежит оптимальный исходный набор, характеристика и соотношение сырья и ингредиентов, подбираемый с учётом будущих технологических характеристик создаваемых новых видов функциональных продуктов питания и понимания потребностей различных категорий населения [117].

При проектировании пищевых продуктов в первую очередь следует определиться с выбором объекта проектирования. В этом случае необходимо ориентироваться не столько на группы изделия (хлебобулочные, кондитерские, молочные и др.), сколько на те функциональные характеристики, которыми должны обладать новые продукты и которые необходимо обязательно учесть в процессе проектирования. Первый этап проектирования пищевых продуктов – моделирование состава, когда выбираются ключевые индикаторы, по которым проводится отбор сырья и сравнение с эталонными показателями. Например, при проектировании продуктов для больных целиакией ключевым показателем будет отсутствие ингредиентов (муки, молотого зерна, добавок), содержащих в своём составе глютен. В зависимости от целевой группы это сырьё частично или полностью заменяется на безглютеновое.

На втором этапе оценивают пищевую и биологическую ценность продукта. По результатам этой оценки выбирают такие массовые доли компонентов, которые обеспечат требуемое

физиологическое соотношение между элементами питания: аминокислотами, насыщенными, моно- и полиненасыщенными жирными кислотами, углеводами, макро-микроэлементами, витаминами. На данном этапе необходимо учитывать специфику метаболизма и особенности заболеваний у респондентов, для которых проектируются данные пищевые продукты. На третьем этапе рассчитывается фактическая пищевая и энергетическая ценность и сравнивается с индикаторными показателями и с учётом специфики решаемых задач [102, с. 5-10; 101, с. 6-8].

Данное проектирование пищевых продуктов нового поколения с заданными параметрами можно проводить с помощью компьютерного моделирования, что позволит получать изделия функционального питания нутриенториентированные на решение специализированных задач, например, профилактику аллергической энтеропатии и НГБЦ.

Современные подходы и методы проектирования пищевых продуктов заданного химического состава на основе предварительного моделирования с последующей алгоритмизацией технологических процессов предоставляют практически неограниченные возможности по совершенствованию рецептур имеющихся пищевых продуктов и созданию новых изделий с заданными свойствами для определённых целевых групп населения. В этой связи в настоящее время ведется активная разработка методологической базы для мониторинга, анализа и систематизации научных принципов моделирования и проектирования с применением цифровых технологий поликомпонентных пищевых продуктов с заданными характеристиками с использованием функциональных ингредиентов на основе отечественных сырьевых ресурсов. Проводится разработка и совершенствование базы данных и номенклатуры функциональных ингредиентов, совершенствуется методология и принципы обогащения пищевых продуктов функциональными ингредиентами, разрабатываются и совершенствуются компьютерные модели для проектирования оптимальных рецептур обогащенных и функциональных пищевых продуктов. Однако единого подхода к проектированию многокомпонентных пищевых продуктов в настоящее время не существует, поэтому для решения поставленных задач проводится разработка авторских программ для проектирования и отмечен процесс постепенного их совершенствования [81, с. 57-59; 103, с. 42-46].

Выводы по обзору литературы. Проведен анализ современных направлений формирования ассортимента и производства хлебобулочных изделий нового поколения для обеспечения здорового питания. Изучены основные тенденции и научно-обоснованные концепции обогащения хлебобулочных изделий и производства функциональных продуктов. Показано, что при формировании рационов питания для профилактики алиментарных заболеваний следует использовать продукты массового потребления, доступные для всех слоёв населения. В первую очередь этому требованию соответствуют хлеб и хлебобулочные изделия, для которых установлен перечень дефицитных нутриентов и разработаны перспективные направления обогаще-

ния и производства специализированных и функциональных продуктов питания. Подтверждена актуальность обогащения хлебобулочных изделий необходимыми функциональными макро- и микронутриентами. Современные тенденции в обогащении хлеба и хлебобулочных изделий для здорового питания ориентированы на разработку сложных многокомпонентных продуктов с заданным химическим составом с учетом востребованности потребительских свойств.

Рассмотрены основные источники традиционного и нетрадиционного сырья, богатого функциональными ингредиентами для обогащения хлебобулочных изделий, которые могут эффективно использоваться для повышения их пищевой ценности, снижения дефицита макро- и микронутриентов, способствующих развитию алиментарных заболеваний и позволяют расширить ассортимент и объем производства продукции профилактического и специализированного назначения.

Одним из перспективных источников белка, незаменимых аминокислот, ПНЖК, витаминного и минерального комплекса, пищевых волокон, антиоксидантов и других биологически активных веществ является псевдозерновая культура киноа. Киноа рассматривается Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) как важный фактор при решении проблемы продовольственной безопасности в мире. На специальном заседании 66 сессии Генеральной Ассамблеи ООН отмечено, что сельскохозяйственная культура киноа, благодаря своей высокой питательной ценности и способности адаптироваться к любым климатическим и географическим условиям, может внести большой вклад в обеспечение продовольственной безопасности в мире. В России в 2017 году Минсельхоз включил культуру киноа в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию в России.

Проведенный анализ литературных источников позволил установить положительное влияние киноа на здоровье людей. В настоящее время предложены технологии использования муки киноа при производстве широкого спектра пищевых продуктов. Ввиду того, что киноа не содержит клейковины, анализ литературных источников, свидетельствует о перспективности использования муки киноа для приготовления функциональных хлебопродуктов и хлебобулочных изделий. Совершенствование ассортимента и технологии производства обогащенных и функциональных хлебобулочных изделий с использованием киноа позволяет получать продукты, не уступающие по потребительским и вкусовым свойствам традиционным изделиям на зерновой основе. Поэтому для производства обогащенного хлеба и безглютеновых хлебобулочных изделий и для формирования необходимого уровня органолептических показателей и заданного химического состава готовых инновационных продуктов питания, актуальным является использование современных методов программирования для оптимизации пищевой и биологической ценности продуктов, обогащенных мукой киноа, программирования рецептур и разработки технологии производства обогащенного хлеба и безглютеновых продуктов на примере хлебцев.

Глава 2 Организация эксперимента, объекты и методы исследований

2.1 Организация эксперимента

Экспериментальная часть работы проводилась в период с 2018 по 2021 г. в соответствии с поставленными задачами 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 ФГАНУ Научно-исследовательского института хлебопекарной промышленности (далее - ФГАНУ НИИХП). Часть исследований была проведена в Отделе экспертизы пищевых товаров Экспертно-криминалистической службы г. Москвы Центрального экспертно-криминалистического таможенного управления, ФГБУ Федеральном центре оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки, в Центре физико-химических и биологических испытаний ФБУ Государственного регионального центра стандартизации, метрологии и испытаний в г. Москве и Московской области.

Апробация готовых изделий проводилась в условиях производственного цеха хлебопродуктов ООО "Миржик".

Все экспериментальные исследования проведены не менее, чем в трехкратной повторности.

Структурная схема проведения исследований представлена на рисунке 2.1.

В работе проведено сравнение потребительских свойств шести видов семян киноа, дано научное обоснование выбора наиболее эффективного подвида киноа для обогащения хлебобулочных изделий и производства обогащенных безглютеновых хлебцев. Изучено влияние дозы и технологии внесения муки киноа на функционально-технологические характеристики теста. Используя математическое моделирование и разработанную компьютерную программу, была оптимизирована рецептура обогащенного хлеба из пшеничной муки и безглютеновых хрустящих хлебцев. Дана оценка эффективности функционального воздействия новых обогащенных продуктов в опытах на лабораторных животных и инфузориях *Tetrahymena pyriformis*. На завершающем этапе проведена апробация предложенных рецептур обогащенных хлебобулочных изделий в промышленных условиях хлебопекарного производства ООО «Миржик» и разработана техническая документация на производство хлеба обогащенного и безглютеновых хлебцев.

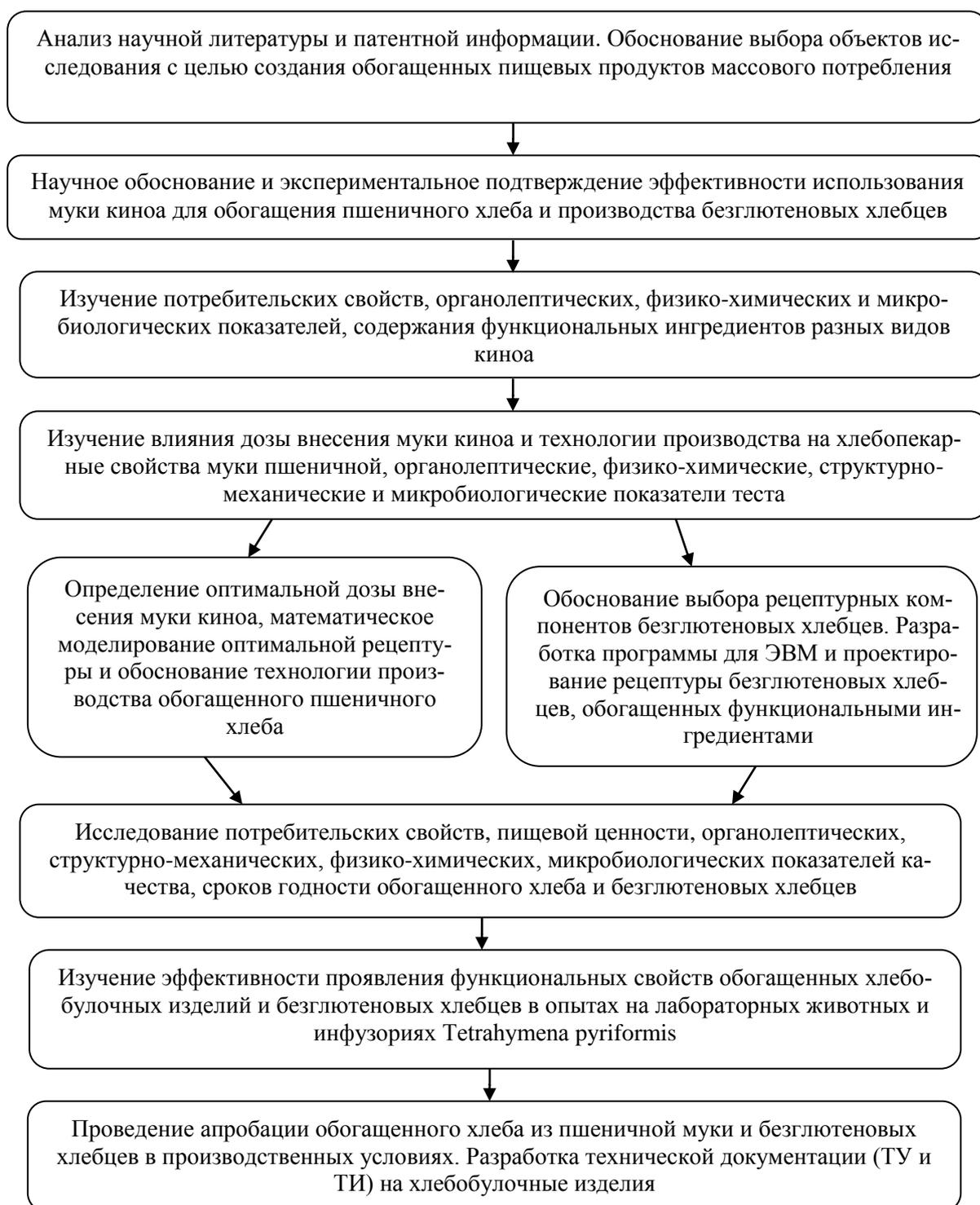


Рисунок 2.1 – Структурная схема проведения исследований

2.2 Объекты исследования

Для сравнительного анализа пищевой ценности были выбраны импортируемые семена киноа торговых марок, представленных на российском рынке и семена киноа отечественного

производства. На основании результатов оценки потребительских свойств исследованных торговых марок киноа для производства обогащенных и безглютеновых хлебобулочных изделий, были рекомендованы семена киноа торговой марки "Продукты XXII века". Для производства хлебобулочных изделий использовали муку киноа промышленного производства торговой марки "Продукты XXII века".

В качестве объектов исследования выбраны:

- семена киноа кремового цвета, торговой марки "Bravolli" (ранее торговая марка "Ярмарка"), изготовитель ООО «Торговый дом Ярмарка», г. Петрозаводск, производство Южная Америка (Чили, Перу);

- смесь семян киноа белого и красного цветов, торговой марки "Мистраль", производитель «Мистраль трейдинг» (г. Москва), экспортируется из Перу;

- семена киноа светло-желтого цвета, торговой марки "Bohlsener&Muehle", производитель Германия, экспортер – Эквадор;

- смесь семян киноа темно-красного и черного цветов, торговой марки "Продукты XXII века", страна происхождения - Перу, изготовитель - ООО "Амадеин" (г. Москва);

- семена киноа желтого цвета, торговой марки "Продукты XXII века", страна происхождения - Перу, изготовитель - ООО "Амадеин" (г. Москва);

- семена киноа, выращенные в фермерском хозяйстве — деревня Донино Раменского района Московской области, цвет неоднородный, варьирует от светло- до темно-коричневого;

- мука киноа, торговой марки "Продукты XXII века", страна происхождения – Перу, изготовитель - ООО "Амадеин" (г. Москва), цвет – белый;

- мука пшеничная хлебопекарная первого сорта торговой марки "Луховицкая", производитель ОАО "Луховицкий мукомольный завод" (Московская область, г. Луховицы);

- мука чечевичная цельнозерновая торговой марки "Житница здоровья", производитель ООО "САМПО" (Тверская область, Калининский район, с. Красная гора);

- пробные выпечки и промышленные образцы готовых изделий обогащенного хлеба;

- экспериментальные изделия безглютеновых хлебцев.

2.3 Сырьё и материалы, используемые в экспериментальной работе исследования

Для разработки *хлебобулочных изделий* использовали следующее сырьё:

- мука пшеничная хлебопекарная первого сорта по ГОСТ 26574-2017 "Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия";

- мука киноа торговой марки "Продукты XXII века" цельнозерновая высшего сорта по ТУ 10.61.22-004-05604978-2017 "Мука из зерновых культур фасованная. Технические условия";
- сахар белый по ГОСТ 33222-2015 "Сахар белый. Технические условия";
- дрожжи хлебопекарные, прессованные по ГОСТ Р 54731-2011 "Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия";
- соль пищевая по ГОСТ Р 51574-2018 "Соль пищевая. Общие технические условия";
- масло подсолнечное рафинированное дезодорированное по ГОСТ 1129-2013 "Масло подсолнечное. Технические условия";
- клейковина пшеничная сухая по СТО 53548590-025-2014 "Клейковина пшеничная (глютен), фасованная в потребительскую тару. Технические условия";
- вода питьевая по ГОСТ Р 51232-98 "Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества" и СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий";
- концентрированная молочнокислая закваска (далее – КМКЗ), которую использовали для предотвращения развития картофельной болезни, повышения микробиологической чистоты, приготовленную по двухфазному циклу с применением жидких культур молочнокислых бактерий *L. plantarum-30*, *L. casei-26*, *L. brevis-1*, *L. fermenti-34* из коллекции ФГАНУ НИИХП. КМКЗ является полуфабрикатом с влажностью от 63 % до 85 % и кислотностью от 14 до 18 град [163].

Для получения *безглютеновых изделий пониженной влажности - хлебцев хрустящих*, использовалось следующее сырье:

- мука киноа торговой марки "Продукты XXII века" цельнозерновая высшего сорта по ТУ 10.61.22-004-05604978-2017 "Мука из зерновых культур фасованная. Технические условия";
- мука чечевичная цельнозерновая по ТУ 9293-009-89751414-10.2 "Мука гороховая, нутовая, чечевичная. Технические условия";
- дрожжи хлебопекарные, прессованные по ГОСТ Р 54731-2011 "Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия";
- соль пищевая по ГОСТ Р 51574-2018 "Соль пищевая. Общие технические условия";
- вода питьевая по ГОСТ Р 51232-98 "Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества" и СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помеще-

ниям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий";

- семена подсолнечника по ГОСТ 22391-2015 "Подсолнечник. Технические условия";
- семена льна масличного по ГОСТ 10582-76 "Семена льна масличного. Промышленное сырье. Технические условия";
- патока мальтозная по ОСТ 10-228-98 "Патока мальтозная. Технические условия" и ГОСТ Р 55316-2012 "Патока мальтозная солодовая. Технические условия";
- масло льняное по ТУ 9141-001-92001421-04 "Масло льняное. Технические условия";
- натрий двууглекислый по ГОСТ 32802-2014 "Добавки пищевые. Натрия карбонаты Е500. Общие технические условия".

Используемое сырье и пищевая продукция соответствовали требованиям безопасности, регламентированными в ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции" и ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна».

2.4 Методы исследования

При исследовании свойств сырья, полуфабрикатов и качества готовых изделий использовали стандартные, общепринятые инструментальные физико-химические, микробиологические и органолептические методы.

Все исследования проводились не менее, чем в трехкратной повторности, доверительная вероятность – 0,95. Обработка результатов исследований проводилась с применением методов математической статистики с применением стандартных пакетов прикладных программ Statistica Version 10.

2.4.1 Методы исследования семян и муки киноа

Основные методы определения физико-химических показателей качества семян, приведены в таблице 2.1. Жирнокислотный состав липидов определяли с использованием газохроматографического анализатора HP 6890 ("Hewlett Packard", США). Аминокислотный состав определяли методом ионно-обменной хроматографии с использованием автоматического аминокислотного анализатора Т339 ("Mikrotechna", Чехия); аминокислотный скор рассчитывался с учетом эталонного белка по данным ФАО/ВОЗ, 2013 г.

Таблица 2.1 – Объекты контроля и определяемые показатели

Объект исследования	Контролируемый показатель	Нормативный документ
Семена и мука киноа	Отбор проб и выделение навесок	ГОСТ ISO 24333-2017 "Зерно и продукты его переработки. Отбор проб"
	Влажность	ГОСТ 13586.5-2015 "Зерно. Метод определения влажности"
	Массовая доля протеина	ГОСТ 10846-91 "Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка"
	Массовая доля углеводов	ГОСТ 26176-2019 "Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов"
	Массовая доля жира	ГОСТ 29033-91 "Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира"
	Зольность	ГОСТ Р 51411-99 (ИСО 2171-93) "Зерно и продукты его переработки. Определение зольности (общей золы)"
	Массовая доля клетчатки	ГОСТ 31675-2012 "Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации"
	Жирнокислотный состав липидов	ГОСТ 30418-96 "Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава"
	Витамины В1, В2, В6, В9, РР, Е	ГОСТ EN 14122-2013 "Продукты пищевые. Определение витамина В ₁ с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии" ГОСТ EN 14152-2013 "Продукты пищевые. Определение витамина В ₂ с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии" ГОСТ EN 14164-2014 "Продукты пищевые. Определение витамина В ₆ с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии" МУК 4.1.3605-20 "Определение витамина В ₉ (фолиевой кислоты) в обогащенных пищевых продуктах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии" ГОСТ Р 54634-2011 "Продукты пищевые функциональные. Метод определения витамина Е" ГОСТ EN 15652-2015 "Продукты пищевые. Определение ниацина методом высокоэффективной жидкостной хроматографии"
	Минеральные вещества	ГОСТ 32343-2013 (ISO 6869:2000) Корма, комбикорма. Определение содержания кальция, меди, железа, магния, марганца, калия, натрия и цинка методом атомно-абсорбционной спектроскопии. МУК 4.1.991-00 "Методика выполнения измерений массовой доли меди и цинка в пищевых продуктах и продовольственном сырье методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии" Руководство по методам контроля и безопасности биологически активных добавок к пище - М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. - 240 с.

Источник: составлено автором.

2.4.2 Методы исследования показателей качества сырья и полуфабрикатов

Пробы пшеничной муки первого сорта, муки киноа и чечевичной муки, используемые в экспериментальной работе, оценивали по органолептическим и физико-химическим показателям.

Органолептическую оценку муки пшеничной первого сорта проводили по ГОСТ 26574-2017 "Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия", в чечевичной муке и муке киноа определялись цвет, запах, вкус. Влажность определяли по ГОСТ 9404-88 "Мука и отруби. Метод определения влажности" методом высушивания в сушильном шкафу марки СЭШ-1 при 130 °С в течение 40 мин и выражали в процентах. Гранулометрический состав муки пшеничной, муки чечевичной и муки киноа определяли на информационно-измерительной системе ГИУ-1. Принцип действия ГИУ-1 основан на анализе изображений электронного микрофотографирования исследуемой пробы муки, нанесенной на предметное стекло.

В соответствии со специальной программой производился автоматический поиск и подсчет частиц, оценивалась светопропускная способность частиц, их размеры, вытянутость, гладкость и площадь. Диапазон измеряемых размеров частиц 1-250 мкм. Время получения результата по каждой пробе - 10 мин [206]. Показатель числа падения муки и мучных смесей определяли на приборе ПЧП-3 по ГОСТ ISO 3093-2016 "Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга-Пертена". Количество и качество клейковины в муке определяли по ГОСТ 27839-2013 "Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины". Упруго-эластичные свойства клейковины оценивали по показателям прибора ИДК-3М.

Определение в муке металломагнитной примеси, загрязненности и зараженности вредителями хлебных запасов осуществляли по ГОСТ 20239-74 "Мука, крупа и отруби. Метод определения металломагнитной примеси" и ГОСТ 27559-87 "Мука и отруби. Метод определения зараженности и загрязненности вредителями хлебных запасов".

Определение показателей, характеризующих физико-химические и реологические свойства теста проводили в соответствии с общепринятыми методиками:

- метод определения титруемой кислотности полуфабриката – по ГОСТ 27493-87 «Мука и отруби. Метод определения кислотности по болтушке»;

- вязкость теста определяли на приборе амилограф фирмы "Brabender" (Германия) в соответствии с ГОСТ ISO 7973-2013 "Зерно и зернопродукты. Определение вязкости с применением амилографа";

- реологические свойства теста устанавливали с помощью прибора Фаринограф-Е (Brabender, Германия) в соответствии с ГОСТ ISO 5530-1-2013 "Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Ч.1 Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа;

- газообразующую и газодерживающую способности теста определяли на приборе Reophermentometer-F3 фирмы "Chopin", в соответствии с руководством к прибору;

- физические характеристики теста из муки исследовали на приборе альвеограф по ГОСТ Р 51415-99 "Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение реологических свойств с применением альвеографа", по альвеограмме определяли упругую и общую деформацию теста, работу деформации и индекс эластичности;

- оценку хлебопекарных свойств муки проводили по методу пробной лабораторной выпечки согласно ГОСТ 27669-88 "Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба".

2.4.3 Методы исследования готовых изделий

Выпечку исследуемых изделий проводили в лабораторных и производственных условиях. Хлебобулочные изделия анализировали через 16-18 часов после выпечки по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям.

Хлебобулочные изделия анализировали по следующим стандартным показателям:

- органолептические показатели по методам, приведенным в ГОСТ 5667-65 "Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий"; ГОСТ ISO 6658-2016 "Органолептический анализ. Методология. Общее руководство" и ГОСТ ISO 13299-2015 "Органолептический анализ. Методология. Общее руководство по составлению органолептического профиля";

- определение влажности хлеба по методу в ГОСТ 21094-75 "Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности";

- кислотность мякиша хлеба по ГОСТ 5670-96 "Хлебобулочные изделия. Метод определения кислотности";

- пористость мякиша хлеба по ГОСТ 5669-96 "Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости";

- удельный объем и формоустойчивость хлебобулочных изделий оценивали по методике Л.И. Пучковой [152];

- реологические свойства мякиша хлеба определяли на приборе "Структурометр СТ-1" по методике СТ-2-05 "Определение деформационных характеристик мякиша хлеба" [150];

- подъемную силу дрожжей определяли ускоренным методом по ГОСТ 171-81 "Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия" методом всплывающего шарика.

Хлебобулочные изделия пониженной влажности - хлебцы хрустящие, анализировали по следующим стандартным показателям:

- органолептические показатели определяли по ГОСТ 9846-88 "Хлебцы хрустящие. Технические условия"; ГОСТ ISO 6658-2016 "Органолептический анализ. Методология. Общее руководство" и ГОСТ ISO 13299-2015 "Органолептический анализ. Методология. Общее руководство по составлению органолептического профиля";

- массовую долю влаги и кислотность определяли по ГОСТ 8494-96 "Сухари сдобные пшеничные. Технические условия";

- массовую долю сахара по ГОСТ 5672-68 "Хлеб и хлебобулочные изделия. Методы определения массовой доли сахара";

- массовую долю жира по ГОСТ 5668-68 "Хлебобулочные изделия. Методы определения массовой доли жира";

- кислотное и перекисное число по МИ 2586-2000 "Рекомендация. ГСИ. Перекисное, кислотное и йодное число жира в кондитерских изделиях. Методики выполнения измерений";

- намокаемость по ГОСТ 10114-80 "Изделия кондитерские мучные. Метод определения намокаемости";

- витамин В₁ по ГОСТ EN 14122-2013 "Продукты пищевые. Определение витамина В (1) с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии", определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии;

- витамин В₂ по ГОСТ EN 14152-2013 "Продукты пищевые. Определение витамина В₂ с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии", определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии;

- витамин В₉ определяли по ФР.1.31.2019.34980-МИ-ВЛ-1-01-2016 "Методика измерений массовой доли водорастворимых витаминов группы В в пищевой продукции, комбикормах, премиксах и биологически активных добавках методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым и флуоресцентным детектированием";

- витамин Е по Р 4.1.1672-03 "Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище" гл. 2, разд. I, п. 1";

- витамин РР по ГОСТ EN 15652-2015 "Продукты пищевые. Определение ниацина методом высокоэффективной жидкостной хроматографии", определение ниацина методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

2.4.4 Специальные методы исследования

2.4.4.1 Метод определения водоудерживающей способности

Определение водоудерживающей способности проводилось по Методике ФГАНУ НИИХП СТП 5-08 "Методика определения водоудерживающей способности полидисперсных растительных порошков", разработанной Центром реологии пищевых сред. Метод отделения избытка свободной воды происходил с использованием центрифугирования. Для этого градуированную центрифужную пробирку помещали навеску муки весом 1 г и добавляли 5 см³ воды, перемешивали, затем пробирки помещали в центрифугу которая в течение 1 мин вращалась при скорости 100 об/мин, затем пробирки оставляли в покое на 30 мин. Далее смесь центрифугировали в течение 25 мин со скоростью 5000 об/мин, затем пробирку взвешивали и измеряли общий объем смеси в пробирке и объем оставшейся не адсорбированной воды. Оставшуюся воду сливали и устанавливали пробирки в наклонном положении на 10 минут для удаления остатков воды, затем снова проводили взвешивание пробирки.

Результаты обрабатывали по следующей формуле:

$$BUC = \frac{(K_n + K_w) - K_p}{K_n} \times 100, \quad (2.1)$$

где K_p – масса навески порошка, г;

K_w - масса воды для приготовления суспензии, г;

K_n - масса надосадочного слоя жидкости, г.

2.4.4.2 Метод определения активности воды в готовых продуктах

Метод основывается на методике, изложенной в инструкции к прибору AquaLabPre (METER Group, Inc (США), ООО «ЛабДепо» г. Санкт-Петербург) и ГОСТ Р ИСО 21807-2015 "Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды". Принцип действия анализатора AquaLabPre основан на измерении относительной влажности воздуха, которая устанавливается в условиях равновесия в замкнутом объеме над поверхностью анализируемого образца и дальнейшим автоматическим вычислением активности воды. Анализатор представляет собой настольный измерительный прибор с камерой для загрузки образца со встроенными в нее датчиками относительной влажности и температуры и электронными блоками для

контроля процесса измерения и обработки данных. Загрузка образцов осуществляется вручную. Показатель активности воды в хлебцах определяли через 24 ч после выпечки.

2.4.4.3 Метод определения антиоксидантной активности в готовых продуктах

Исследование количественной оценки антиоксидантной активности (АОА) готовой продукции – хлебцев хрустящих, проводили в соответствии с методикой МВИ-01-44538054-07 методом кулонометрического титрования электрогенерированным бромом на универсальном прецизионном кулонометре "Эксперт-006" (НПК ООО "Эконинкс-Эксперт" г. Москва) [98]. Математическая обработка данных осуществлялась с помощью программы Matstat и Excel.

Электрогенерацию брома осуществляли при постоянной силе тока 5,0 мА из 0,2 М водного раствора КВг в 0,1 М H_2SO_4 с определением конца титрования вольтметрической индикацией с двумя поляризованными электродами из инертного металла. В ячейку объемом 50 см³ вводили 20 см³ фонового раствора, опускали электроды и включали генераторную цепь. Затем в ячейку вносили аликвоту исследуемого образца (0,5 см³ спиртовой вытяжки из 1 г хлебцев в общем объеме - 2,0 см³). Конечную точку титрования фиксировали по достижении первоначального значения индикаторного потенциала в течение времени выдержки все вещества обладающие АОА, реагировали с избытком хлора. Прибор автоматически оттитровал оставшийся хлор, численно равный количеству внесенных в аликвоте веществ, обладающих АОА и показывал суммарное содержание антиоксидантов в мкг в аликвоте. Далее рассчитывали суммарное содержание антиоксидантов в 100 г хлебцев [98].

2.4.4.4 Метод определения картофельной болезни хлеба

Поражение хлебобулочных изделий картофельной болезнью определяли согласно Инструкции по предупреждению картофельной болезни хлеба, разработанной в ФГАНУ НИИХП [75] и с использованием прибора люминоскоп «Филин» (ООО НТЦ «Петролазер» г. Санкт-Петербург) люминесцентным методом. Такой метод позволяет обнаружить изменения на ранней стадии заболевания хлеба. В лабораторных условиях проводили пробную выпечку хлебобулочных изделий по ГОСТ 27669-88 "Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба", остывший хлеб заворачивали в увлажненную пористую бумагу, по-

мещали в пакет и выдерживали в термостате сутки при температуре 35-39 °С [75]. Спустя сутки в контрольном и опытном образцах хлеба определяли признаки картофельной болезни визуально и с помощью люминоскопа. Наблюдение проводили в течение 4-х суток.

2.4.4.5 Метод определения микробиологических показателей качества муки и хлебобулочных изделий

Отбор и подготовка проб для микробиологических анализов осуществлялись по ГОСТ 31904-2012 "Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний". При этом определяли следующие показатели:

- бактерии группы кишечной палочки (далее - БГКП) – по ГОСТ 31747-2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)»;

- КМАФАнМ – по ГОСТ 10444.15-94 "Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов";

- количество дрожжей и плесневых грибов по ГОСТ 10444.12-2013 "Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов".

2.4.4.6 Биотестирование интегральной безопасности и относительной биологической ценности хлебобулочных изделий с помощью тест-организмов инфузорий *Tetrahymena pyriformis*

Биотестирование интегральной безопасности и относительной биологической ценности хлебобулочных изделий с помощью тест-организмов инфузорий *Pramescium caudatum* и *Tetrahymena pyriformis* позволяет в течение 1,5-5 часов провести экспресс-анализ исследуемых объектов по ГОСТ 31674-2012 "Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения общей токсичности" [57; 24, с. 247-252].

Культуру *Tetrahymena pyriformis* выращивали стандартным методом на традиционной среде культивирования с использованием стерильной базовой пептонно-дрожжевой питательной среды, которую готовили с использованием дистиллированной воды с добавлением в нее

0,5 % глюкозы, 2 % пептона бактериологического, 0,1 % дрожжевого экстракта и 0,1 % морской соли. Культивирование инфузорий осуществляли в лабораторных условиях при температуре ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) без доступа света, путем пересева бактериологической петлей на свежую среду. К 2 мл среды с инфузориями добавляли измельченный обогащенный хлеб из пшеничной муки в количестве 0,05 г. Оценку показателей безопасности по химическим и микробиологическим показателям продукции проводили на соответствие требований ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

2.5 Методика проведения исследований эффективности хлебопродуктов, обогащенных функциональными ингредиентами муки киноа на лабораторных животных

Проведение экспериментальных исследований по изучению влияния рекомендуемых функциональных ингредиентов, используемых для обогащения хлеба пшеничного и производства безглютеновых хлебцев на клинично-физиологические показатели и постпрандиальную гликемию у лабораторных животных осуществлялось в соответствии с «Порядком проведения исследований эффективности специализированной диетической лечебной и диетической профилактической пищевой продукции» [148]. Исследования проводили в виварии ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», по адресу: 355017, Ставропольский край, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический д. 12.

Животные содержались в соответствии с требованиями согласно ГОСТ 33216-2014 "Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами", Европейской Конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях, г. Страсбург от 18.03.1986 и в Директиве 2010/63/EU "Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях от 22.09.2010. Исследования с участием лабораторных животных проводили с соблюдением Федерального закона от 27.12.2018 № 498-ФЗ "Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и ГОСТ 33215-2014 "Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур", обеспечивающих соблюдение необходимых условий, не противоречащих основам международной медицинской этики, что отражено в соответствующем Протоколе (приложение И).

Исследования проводились в контролируемых условиях содержания лабораторных крыс: температура – 20°C - 26°C , относительная влажность воздуха – 40 % - 70 %, световой режим –

12 часов света и 12 часов темноты. Температура и влажность воздуха регистрировались ежедневно. В эксперименте использовалось 24 животных, самки белых беспородных крыс, массой 176-182 грамм. Сформировано 4 группы испытуемых животных, по 6 крыс в каждой группе, соответствующих числу вариантов эксперимента. Животные содержались в поликарбонатных клетках, покрытые стальными решетчатыми крышками с углублением для корма, предоставляемый в свободном доступе. Первая группа получала хлебцы без добавок (контроль); вторая группа – безглютеновые хлебцы (опыт); третья группа – хлеб без добавок (контроль); четвертая группа – хлеб, с добавлением муки киноа (опыт). Животные получали воду в свободном доступе из стандартных поилок для грызунов, вода соответствовала СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий". Животных по группам распределяли рандомно по массе таким образом, чтобы индивидуальное значение массы тела крысы не отклонялось от среднего показателя более чем на 10 %.

Животные с первого дня эксперимента переведены на экспериментальный рацион. Структура исследований включала моделирование повреждений слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта у крыс. За 24 часа до перевода животных на экспериментальный рацион утром через зонд животным вводили селективный нестероидный противовоспалительный препарат - кетопрофен в дозировке 15 мг/кг [185, с. 117-120]. Эксперимент составлял 14 суток, наблюдали за общим состоянием, поведением, приёмом корма и питьевой воды, проявлением симптомов интоксикации, возможной гибелью. Массу тела животных определяли до начала эксперимента, на 7-й и 14-й день после перевода на экспериментальный рацион питания. В эти дни эксперимента проводили забор крови с последующим проведением биохимического анализа с использованием автоматического фотометрического анализатора CHEM WELL 2900V (США). Посткраниальную гликемию исследовали однократно на 14-е сутки. После 16-часового пищевого голодания определяли концентрацию глюкозы в крови, затем в режиме свободного доступа животным давали образцы исследуемых хлебобулочных изделий и безглютеновых хлебцев.

Для определения видового состава микрофлоры кишечника проводили забор экскрементов крыс и посев образцов кала для комплексного микробиологического исследования аэробной и анаэробной микрофлоры желудочно-кишечного тракта опытных и контрольных лабораторных животных по стандартной методике в соответствии с МУ 4.2.2039-05 "Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Техника сбора и транспортирования биоматериалов в микробиологические лаборатории". С этой целью проводили 10-кратное разведение

исследуемого материала в 0,85 % физиологическом растворе и из каждого разведения в 3-кратной повторности по 0,1 мл суспензии засеивали на питательные среды (трехкратно). Для энтеробактерий с нормальной ферментативной активностью и условно-патогенных лактозонегативных энтеробактерий использовали агар Эндо, для определения аэробной флоры – пластинчатый мясо-пептонный агар, для определения лактобактерий – Рагоза-агар (Fluka), среда Китта-Тароцци – для анаэробных (клостридии), в том числе молочнокислых (бифидобактерии) бактерий, высокий столбик сахарного мясо-пептонного агара – для банальных анаэробов (клостридий) и оценки уровня микрофлоры с выраженным газообразованием. Посевы культивировали при температуре 37°C в термостате 24–72 часа. Выделенные микроорганизмы идентифицировали по культуральным, морфологическим, тинкториальным и биохимическим свойствам.

Глава 3 Изучение потребительских свойств разных видов семян псевдозерновой культуры киноа, реализуемой на российском продовольственном рынке

3.1 Сравнительная органолептическая оценка разных видов семян псевдозерновой культуры киноа, реализуемой на российском продовольственном рынке

В последние годы в международной практике производства продуктов для здорового питания большое внимание уделяется использованию перспективного вида нетрадиционного растительного сырья – псевдозерновой культуре киноа (*Chenopodium quinoa*), рода Марь (*Chenopodium*), семейства Амарантовые (*Amaranthaceae*). Киноа в 2013 г. на заседании 66 сессии ООН была рекомендована для решения международной проблемы продовольственной безопасности как культура, обладающая уникальной пищевой ценностью, также в 2013 году ООН провозгласил «Международным годом киноа», а в 2017 г киноа Минсельхозом России включена в Госреестр селекционных достижений. Семена характеризуются высокой пищевой и биологической ценностью, отсутствием аллергических реакций, что объясняется отсутствием глютена – основного компонента клейковины, белковых веществ пшеницы и некоторых других зерновых культур [22, с. 19-23; 96, с. 147-150; 114; 48].

Киноа выращивается в промышленных масштабах более чем в 70 странах мира и широко используется в рационе питания населения США, Канады, стран Южной Америки, в странах Евросоюза и других странах. Импорт киноа в Россию составляет около 1000 тонн, основные поставки осуществлялись из Перу, Чили и Эквадора. Martínez E. A. указывает, что уникальные свойства семян киноа обусловлены наличием незаменимых аминокислот, ненасыщенных жирных кислот, микро- и макроэлементов, витаминов в оптимальном соотношении [262, с. 331-340].

На международном рынке псевдозерновая культура киноа представлена разными ботаническими сортами и торговыми марками, полученными в разных почвенно-географических зонах выращивания. Существует более ста разнообразных видов *Chenopodium quinoa*, которые отличаются по потребительским свойствам и по цвету. Наиболее распространены семена кремовых оттенков, но встречаются также семена белого, красного и черного цвета. Каждый представленный на рынке вид псевдозерновой культуры может иметь существенные различия в химическом составе и оказывать значительное влияние на показатели качества готовых изделий.

Основным преимуществом семян киноа, по сравнению с традиционными злаковыми культурами является высокое содержание полноценного белка, составляющего в среднем 14 %-20 %. Состав незаменимых аминокислот белка семян киноа близок к требованиям «идеального белка», установленным ФАО/ВОЗ [284; 242, с. 1222-1229].

В зависимости от ботанического сорта в семенах киноа содержится от 1,7 % до 9,7 % липидов, отличительной особенностью которых является содержание полиненасыщенных жирных кислот: олеиновой, линолевой и линоленовой (до 65 % от общего содержания жирных кислот) [274].

Киноа отличается от традиционных зерновых культур повышенным содержанием биологически активных соединений и отсутствием глютена, что обуславливает важное направление использования киноа – производство безглютеновых продуктов питания, предназначенных для включения в рацион питания людей, страдающих целиакией или непереносимостью пшеничного белка [271; 218, с. 54-59].

Для определения эффективных направлений использования культуры киноа, как сырьевого источника дефицитных макро- и микронутриентов для направленной коррекции химического состава хлебобулочных изделий, в соответствии рекомендуемыми современными международными тенденциями в области здорового питания населения, был проведен сравнительный анализ химического состава и пищевой ценности семян киноа различных торговых марок, представленных на российском рынке.

Проведено сравнительное исследование потребительских свойств псевдозерновой культуры киноа, выращенной в Южной Америке различных торговых марок, доминирующих на продовольственном рынке России: "Bravolli"; "Мистраль"; "Продукты XXII века "белая" киноа»; «Продукты XXII века "черная" киноа»; "Bohlsener&Muehle" и семена киноа и семян, выращенных в фермерском хозяйстве Московской области (рисунки 3.1, 3.2).

Органолептические показатели являются важнейшими потребительскими характеристиками хлебобулочных изделий, поэтому первичный выбор при выборе семян киноа, как перспективного сырья для обогащения, начинался с анализа их органолептических характеристик.

Проведена сравнительная органолептическая оценка исследуемых образцов семян киноа торговых марок, преобладающих на продовольственном рынке России: "Bravolli", "Мистраль", "Bohlsener&Muehle", "Продукты XXII века" и семян киноа, выращенных в фермерском хозяйстве в д. Донино Раменского района Московской области. Органолептическая экспертиза проводилась в соответствии с ГОСТ ISO 6658-2016 "Органолептический анализ. Методология. Общее руководство" и ГОСТ ISO 13299-2015 "Органолептический анализ. Методология. Общее руководство по составлению органолептического профиля".



а) "Bravolli", б) "Мистраль", в) "Продукты XXII века" (белого цвета), г) "Продукты XXII века" (черного цвета), д) "Bohlseiner&Muehle", е) киноа, выращенные в Подмосковье

Рисунок 3.1 – Семена псевдозерновой культуры киноа различных торговых марок
 Источник: составлено автором.

Органолептический анализ семян киноа разных видов и муки, полученной из этих семян, (таблицы 3.1, 3.2) проводила экспертная дегустационная комиссия кафедры товароведения и товарной экспертизы РЭУ им. Г.В. Плеханова совместно с соискателем в составе 6 человек.

Установлено, что запах семян и муки киноа всех производителей характеризовался приятными оттенками орехов и свежей травы, без существенных различий между торговыми марками (таблицы 3.1 и 3.2). Вкус семян и муки киноа свойственен продуктам растительного происхождения, соответствующий виду псевдозлаковой культуры, без существенных различий, с характерным привкусом "овсяной крупы" и мучнистости во рту.

По цвету мука киноа разных видов имела светло-желтый, светло- или темно-серый оттенок. Полученные данные свидетельствуют о том, что мука из киноа "черного" цвета торговой

марки "Продукты XXII века" имела самые низкие показатели при оценке цвета, мука была темно-серого неоднородного цвета и для обогащения хлебобулочных изделий использована быть не может.



а) "Bravolli", б) "Мистраль", в) "Продукты XXII века" (белого цвета), г) "Продукты XXII века" (черного цвета), д) "Bohlsener&Muehle", е) киноа, выращенная в Подмосковье

Рисунок 3.2 – Внешний вид семян *Chenopodium quinoa wild.* различных торговых марок
 Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

Таблица 3.1 – Органолептические показатели качества семян киноа различных торговых марок

Наименование показателя	Семена киноа различных торговых марок					
	«Bravolli»	«Мистраль»	«Bohlsener & Muehle»	«Продукты XXII века» "белого" цвета	«Продукты XXII века» "черного" цвета	выращенные в Подмоскowie
Цвет	зерна кремового цвета, имеют сходство со слоновой костью	зерна различных цветов: от кремового цвета до насыщенного коричневого цвета	зерна различных цветов: белые с желтоватым оттенком и кремовые с легкой желтизной	зерна кремового цвета с желтым оттенком, имеют сходство со слоновой костью	зерна различных цветов: темно-красного, кремового и черного	зерна неоднородного цвета, варьируются от светло- до темно-коричневого цветов
Запах	не затхлый, с легким специфическим "ореховым" запахом, свойственным семенам киноа					
Вкус	мучнистый, свойственный семенам киноа, схожий с овсяной крупой					

Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

Таблица 3.2 – Сравнительная характеристика органолептических показателей качества исследуемых видов муки киноа

Наименование показателя	Виды муки разных видов и торговых марок киноа					
	«Ярмарка»	«Мистраль»	«Bohlsener & Muehle»	«Продукты XXII века» "белого" цвета	«Продукты XXII века» "черного" цвета	выращенные в Подмоскowie
Цвет	кремовый, с лёгким желтоватым оттенком	белый, с выраженным желтоватым оттенком	молочно-белый с лёгкой желтизной	белый, с лёгким желтоватым оттенком, имеет сходство со слоновой костью	темно-серый неоднородный	серый с желтоватым оттенком
Запах	свойственный муке киноа, приятный, легкий специфический «ореховый», без посторонних запахов, не затхлый и не плесневый					
Вкус	свойственный муке киноа, не имеет посторонних привкуса и послевкуся, приятный, не кислый и не горький					

Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

3.2 Сравнительный анализ химического состава исследуемых видов семян киноа

Для установления наиболее перспективного источника функциональных ингредиентов исследуемых образцов семян псевдозерновой культуры киноа, был проведен сравнительный анализ химического состава семян исследуемых видов киноа. Для установления целесообразности использования семян киноа для обогащения хлебобулочных изделий, дополнительно был

проведен анализ ключевых показателей пищевой ценности основных традиционных зерновых культур (рис, пшеница) (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Сравнительный химический состав различных подвидов киноа и традиционных сельскохозяйственных культур, г/100г

Показатель	Торговая марка семян киноа						Традиционные зерновые культуры	
	«Bravolli»	«Мистраль»	«Bohlsener&Muehle»	«Продукты XXII века» "белого" цвета	«Продукты XXII века» "черного" цвета	киноа, выращенная в Подмосковье	рис	пшеница*
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
Зола	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
Ккал	358,0	373,0	369,0	370,0	378,0	352,0	320,0	305,0
* Представлены данные мягких сортов пшеницы, используемой преимущественно в хлебопечении								

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

По содержанию белка семена киноа превосходят основные зерновые культуры, к ним относятся рис и пшеница. Из литературных данных известно, что содержание белка в семенах киноа в среднем равно составляет 13 % - 21 % в зависимости от сорта. По результатам наших исследований было установлено, что содержание белка в зависимости от сорта и торговой марки находится в пределах от 12,2 % до 14,5 %. Самое высокое содержание 14,5 % содержится в семенах торговой марки «Продукты XXII века» «белого» цвета. В традиционных зерновых культурах – рисе и пшенице, содержание белка ниже – 7,2 % и 11,5 % [198].

Киноа во всем мире рассматривается как важный источник растительного белка и комплекса БАВ, в этой связи был изучен аминокислотный состав разных видов киноа для определения степени их соответствия «идеальному» белку с целью определения вида, который может быть использован для обогащения пшеничной муки. Методом ионообменной хроматографии на аминокислотном анализаторе Т-339 ("Mikrotechna", Чехия) был определен аминокислотный состав исследуемых видов семян, результаты представлены в таблице 3.4.

Содержание незаменимых аминокислот преобладало в семенах киноа торговой марки "Продукты XXII века" "белого" цвета по сравнению с киноа других торговых марок и составило

4672 мг/100 г. Минимальное содержание суммы незаменимых аминокислот - 3939 мг/100г было установлено в семенах киноа, выращенных в Подмосковье.

Таблица 3.4 – Аминокислотный состав исследуемых образцов киноа, мг/100г

Аминокислота	Семена киноа исследуемых марок					
	Продукты XXII века "белого" цвета	Продукты XXII века "черного" цвета	Мистраль	Bohlsener & Muehle	Bravolli	Семена киноа, выращенные в Подмосковье
Содержание незаменимых (эссенциальных) аминокислот						
Валин	594±0,12	575±0,03	544±0,03	567±0,01	534±0,05	450±0,04
Изолейцин	504±0,08	490±0,01	472±0,04	464±0,07	417±0,03	398±0,01
Лейцин	840±0,11	801±0,13	747±0,12	740±0,02	760±0,11	714±0,11
Лизин	767±0,02	752±0,02	664±0,02	720±0,14	653±0,04	637±0,02
Метионин+цистин	512±0,09	529±0,04	502±0,14	540±0,01	537±0,02	499±0,01
Треонин	422±0,15	414±0,12	392±0,02	372±0,04	389±0,01	364±0,05
Фенилаланин+тирозин	863±0,11	868±0,04	793±0,04	630±0,03	660±0,01	727±0,03
Триптофан	170±0,12	167±0,02	172±0,04	170±0,04	171±0,04	<150±0,01
Сумма незаменимых аминокислот	4672±0,02	4596±0,02	4286±0,05	4203±0,01	4121±0,05	3939±0,07
Содержание заменимых аминокислот						
Аланин	820±0,06	889±0,06	797±0,02	810±0,04	732±0,01	590±0,07
Аргинин	984±0,05	988±0,04	843±0,07	1090±0,05	839±0,06	830±0,04
Аспарагиновая кислота	1134±0,01	1198±0,09	1025±0,08	1113±0,03	1003±0,07	950±0,08
Гистидин	406±0,04	463±0,06	452±0,01	407±0,08	433±0,02	421±0,02
Глицин	690±0,09	693±0,04	553±0,04	682±0,02	573±0,04	552±0,07
Глутаминовая кислота	1865±0,01	1790±0,04	1659±0,07	1694±0,09	1562±0,02	1650±0,01
Пролин	805±0,07	772±0,15	791±0,05	770±0,03	773±0,05	750±0,03
Серин	590±0,11	568±0,01	557±0,01	570±0,07	567±0,09	557±0,05
Сумма заменимых аминокислот	7294±0,02	7361±0,01	6677±0,13	7136±0,01	6482±0,04	6300±0,04
Суммарное содержание аминокислот	11966±0,12	11957±0,03	10963±0,05	11339±0,07	10603±0,08	10239±0,11

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Возможно, это связано с недостаточной степенью зрелости семян, поэтому нужно продолжить селекцию региональных сортов киноа, которые могут максимально реализовать видовой потенциал пищевой ценности этой культуры. Учитывая, что по органолептические показатели, содержание белка и суммарное содержание незаменимых аминокислот было выше в семенах киноа торговой марки "Продукты XXII века" "белого" цвета, дальнейшие исследования проводились с этим видом семян.

Для определения возможности использования семян киноа для обогащения хлебобулочных изделий, необходимо установить возможность компенсировать дефицит 1 и 2 незаменимой аминокислоты пшеничной муки – лизина и треонина. Для установления биологической полноценности белка семян киноа была проведена сравнительная оценка аминокислотного сора (АКС) белков киноа марки «Продукты XXII века» "белого" цвета и белков мягкой пшеницы (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Сравнительное содержание незаменимых аминокислот и АКС в киноа торговой марки «Продукты XXII века» "белого" цвета и белке пшеницы (г/100 г белка)

Аминокислота	Содержание незаменимых аминокислот в "идеальном" белке (рекомендация ВОЗ)	Содержание незаменимых аминокислот в белках пшеницы, %	Среднее содержание незаменимых аминокислот в белке киноа, %	АКС белков пшеницы, %	АКС киноа, %
Лизин	4,8	2,6	5,4	54,0	112,0
Валин	4,0	4,6	4,7	115,0	117,0
Изолейцин	3,0	3,4	4,7	113,0	156,0
Треонин	2,5	2,2	2,7	88,0	122,0
Лейцин	6,1	6,0	7,1	113,0	120,0
Фенилаланин + тирозин	4,1	6,3	6,3	153,0	155,0
Метионин + цистеин	2,3	2,2	5,5	96,0	239,0
Триптофан	1,0	1,3	1,7	130,0	170,0
Примечание - Аминокислотный скор (данные ФАО/ВОЗ, 2013 г.)					

Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

Белок пшеницы относится к неполноценному, он лимитирован по содержанию незаменимых аминокислот – лизина и треонина. АКС по лизину составляет 54 %, а треонина – 88 %. В семенах киноа АКС лизина составляет 112 %, треонина – 122 %. АКС остальных незаменимых

аминокислот в белке киноа выше, чем в пшенице мягких сортов, в т.ч. АКС метионина и цистеина в белке пшеницы составляет 96 %, в то время как в белке киноа он превышает почти в 2,5 раза и составляет 239 %. Следовательно, белок киноа не содержит лимитирующих аминокислот и по биологической ценности близок к идеальному белку по шкале ФАО/ВОЗ. Аналогичные результаты были получены другими авторами, которые устанавливали в киноа содержание полноценного белка в пределах от 14 % до 19 % в зависимости от вида и региона произрастания, не содержащего лимитирующие незаменимые аминокислоты [100, с. 89-97; 99, с. 39-44; 61, с. 138-141]. Учитывая, что микро-, макроэлементы и витамины в пищевом статусе населения отнесены к дефицитным нутриентам, для хлебопродуктов рекомендовано проводить обогащение минеральными элементами, в первую очередь железом, кальцием, йодом и др. [201, с. 29-31]. Был проведен сравнительный анализ содержания основных минеральных веществ в семенах киноа марки «Продукты XXII века» "белого" цвета и традиционных зерновых культур (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Сравнительное содержание минеральных веществ в семенах киноа торговой марки «Продукты XXII века» и традиционных зерновых культур

Минеральный элемент, мг/100 г	Киноа "Продукты XXII века" "белого" цвета		Пшеница	Рис
	исследуемый образец	% удовлетворения су- точной потребности		
Макроэлементы				
Кальций	83,0±0,03	8,3	59,0	8,0
Калий	567,0±0,07	23,1	382,0	90,0
Магний	197,0±0,12	48,3	115,0	51,0
Фосфор	468,0±0,02	55,8	372,0	149,0
Микроэлементы				
Железо	4,59±0,02	23,5	5,4	1,2
Цинк	4,4±0,08	26,2	2,79	1,43
Марганец	3,6±0,01	27,1	3,5	1,25
Селен, мкг	10,7±0,01	25,9	29,0	15,2

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Анализ полученных результатов показывает, что семена киноа более богаты минеральными веществами, чем традиционные зерновые культуры. Исходя из степени удовлетворения суточной потребности в минеральных веществах, к функциональным ингредиентам (удовле-

творяющие более 15 %) могут быть отнесены минеральные вещества киноа: макроэлементы – магний и калий; микроэлементы – марганец, селен, железо, фосфор и цинк. Витамины С, А, Е, β-каротин, В₁, В₂, В₆, фолиевая кислота и РР также рекомендованы в качестве функциональных ингредиентов, для обогащения зерномучных товаров [20, с. 26–29; 122, с. 28-33]. Проведен сравнительный анализ содержания основных витаминов в семенах киноа марки «Продукты XXII века» и в основных зерновых культурах – пшенице, рисе (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Сравнение витаминного комплекса в семенах киноа марки «Продукты XXII века» и традиционных зерновых культур

Витамин, мг/100 г	Киноа «Продукты XXII века»		Пшеница	Рис
	исследуемый образец	% удовлетворения суточной потребности		
В ₁	0,40±0,05	25	0,42	0,30
В ₂	0,32±0,08	18	0,20	0,09
В ₆	0,56±0,03	28	0,38	0,19
В ₉ , мкг/100г	189,0±0,14	47	42,50	18,60
РР	1,53±0,02	8	1,69	1,19
Е	2,50±0,12	17	2,60	2,00

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Семена киноа не уступают по содержанию витаминов в зерне пшеницы (мягкой), риса. Содержание витаминов В₂, В₆ и В₉ в семенах киноа превышает их содержание в зерне исследуемых зерновых культур. Семена киноа могут использоваться в качестве источника функциональных ингредиентов для обогащения пищевых продуктов, в том числе зерномучных изделий витаминами В₁, В₂, В₆, В₉ и Е.

Большое значение для организма человека имеет содержание в рационе питания полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Высокая пищевая ценность семян киноа обусловлена более высоким содержанием жира по сравнению с изученными традиционными зерновыми культурами. Содержание жира в киноа разных марок колебалось от 5,9 до 7,1 мг/100 г. Минимальное содержание жира установлено в семенах марки «Bohlsener&Muehle» - 4,9 мг/100 г. Семена торговых марок "Bravolli" и "Мистраль" содержали максимальное количество жира – 7,0 и 7,1 мг/100 г соответственно. У семян киноа «Продукты XXII века» содержание жира было незначительно ниже и составило 6,8 %. В традиционных исследуемых культурах содержание жира существенно ниже и составило 2,2 мг/100 г в пшенице, 2,6 мг/100 г в рисе.

Для установления биологической эффективности жира исследуемых культур, был проведен анализ их жирнокислотного состава. В таблице 3.8 представлены результаты сравнительного анализа жирнокислотного состава шести исследуемых видов киноа и традиционных культур – пшеницы, риса. Необходимо отметить более высокую биологическую эффективность жира у семян киноа в сравнении с традиционными зерновыми культурами. Семена киноа содержали 48 % - 53 % полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) от общего содержания жирных кислот (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Жирнокислотный состав семян киноа различных торговых марок и традиционных сельскохозяйственных культур, %

Состав жирных кислот	Киноа						Рис	Пшеница
	Продукты XXII века "белого" цвета	Продукты XXII века "черного" цвета	Мистраль	Bohlsener & Muehle	Bravolli	выращенная в Подмоскowie		
<i>Насыщенные, в т.ч.</i>	11,57	11,94	11,46	11,48	11,24	10,97	10,23	20,51
Миристиновая к-та (C _{14:0})	<0,28±0,1	<0,28±0,02	<0,28±0,01	<0,3±0,02	<0,28±0,02	<0,28±0,03	10,01	19,2
Пальмитиновая к-та (C _{16:0})	9,35±0,01	9,8±0,02	9,51±0,01	9,24±0,02	9,27±0,02	8,87±0,04	0,18	1,24
Стеариновая к-та (C _{18:0})	0,75±0,02	<1±0,02	0,66±0,02	0,78±0,03	0,62±0,01	0,61±0,03	0,04	0,05
Арахидовая к-та (C _{20:0})	0,47±0,02	0,43±0,01	0,43±0,01	0,48±0,01	0,45±0,02	0,52±0,04	сл.	0,02
Бегеновая к-та (C _{22:0})	0,72±0,02	0,43±0,02	0,58±0,03	0,70±0,01	0,62±0,02	0,69±0,05	0	0
<i>Мононенасыщенные, в т.ч.</i>	28,64±0,03	31,37±0,03	26,3±0,05	27,1±0,01	27,92±0,03	27,69±0,01	11,22	14,63
Пальмитолеиновая к-та (C _{16:1})	<0,28±0,02	0,1±0,03	<0,27±0,05	<0,3±0,01	<0,29±0,06	<0,28±0,03	0,8	1,12
Олеиновая к-та (C _{18:1})	25,69±0,15	27,7±0,08	23,42±0,06	24,3±0,01	25,12±0,01	24,78±0,02	10,31	13,53
Гадолеиновая к-та (C _{20:1})	1,44±0,02	1,94±0,02	1,37±0,05	1,32±0,01	1,33±0,01	1,42±0,04	-	-
Эруковая к-та (C _{22:1})	1,24±0,04	1,53±0,05	1,25±0,04	1,24±0,01	1,20±0,02	1,21±0,04	0	0
<i>Полиненасыщенные, в т.ч.</i>	52,87±0,02	52,97±0,02	48,07±0,01	51,3±0,03	48,36±0,02	51,17±0,01	20,19	22,86
Линолевая к-та (C _{18:2})	45,35±0,06	46,77±0,02	41,95±0,03	43,4±0,02	42,14±0,03	43,13±0,03	20,19	21,83
Линоленовая к-та (C _{18:3})	7,52±0,03	6,2±0,03	6,12±0,01	7,89±0,04	6,22±0,02	8,04±0,03	сл.	1,03
<i>Прочие</i>	6,92±0,01	3,72±0,01	14,17±0,02	10,5±0,03	12,48±0,02	10,17±0,03	58,36	42,0

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Содержание ПНЖК в зерне пшеницы и риса составляло 20,19 % и 21,83 % соответственно, что в 2-2,5 раза ниже, чем в семенах киноа. Аналогичное соотношение установлено для мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК). В семенах киноа содержание МНЖК колебалось от 26,3 % до 31,37 %, в пшенице их содержание более чем в 2 раза ниже и составляет 14,63 %. В составе пищевых жиров важную физиологическую роль играют Омега-6 (ω -6) и Омега-3 (ω -3) ПНЖК, которые не синтезируются в организме человека и могут поступать только с пищей. Они влияют на стабилизацию обменных процессов в организме, входят состав клеточных мембран, принимают участие в синтезе гормонов, являются важными антиоксидантами, участвуют в формировании иммунитета.

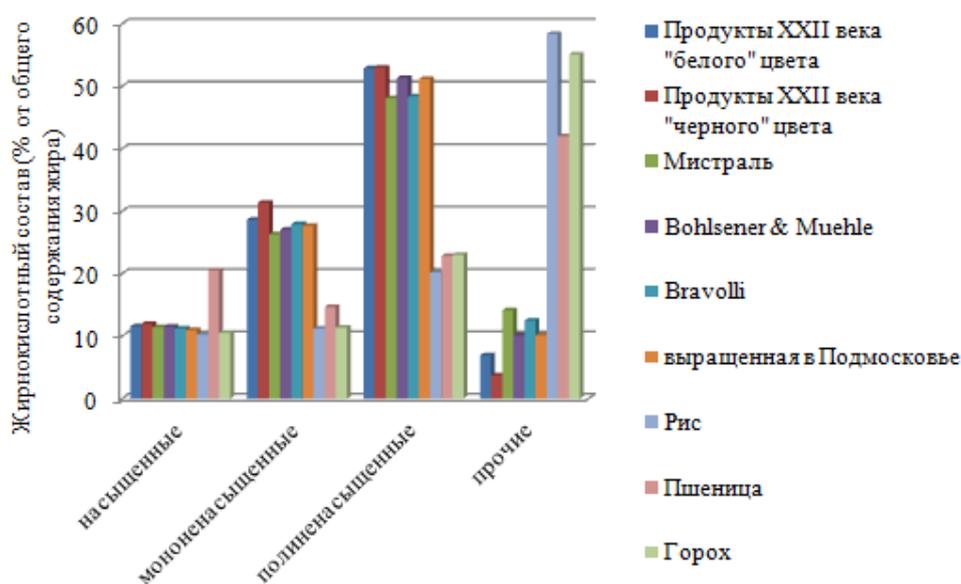


Рисунок 3.3 – Состав жирных кислот исследуемых видов киноа (% от общего содержания жира)
 Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Наиболее важными для нормализации жизнедеятельности организма человека считаются эссенциальные омега – 3 жирные кислоты. Наиболее важными ω -3 кислотами являются: α -линоленовая кислота (C18:3), эйкозапентаеновая (C20:5) и докозагексаеновая (C22:6) кислоты. В современной структуре питания отмечено высокое содержание ω -6 кислот, избыток которых может вызывать разрушение мембран, развитие сахарного диабета, ожирения и другие негативные последствия. В настоящее время нет единого мнения ученых по оптимальному соотношению ω -6 и ω -3 кислот. Например, в Японии оптимальным считается соотношение 4:1, в Швейцарии 5:1, многие ученые рекомендуют соотношение от 2:1 до 4:1. В соответствии с рекомендациями ВОЗ оптимальным считается соотношение от 1:1 до 10:1.

В МР 2.3.1.2432-08 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" рекомендована физиологическая норма для взрослого населения для кислот ω -6 составляет 5 % - 8 % и для ω -3 - 1 % - 2 % от калорийности суточного рациона. Оптимальное соотношение ω -6: ω -3 рекомендуется от 5 до 10:1 в суточном рационе. Однако в пищевом статусе на современном этапе это соотношение нарушено и колеблется в среднем в пределах от 25-30:1. В этой связи обогащение рациона питания ПНЖК, особенно кислотами группы ω -3 является актуальной проблемой.

Анализ соотношения ω -6: ω -3 кислот в семенах киноа близко к рекомендуемому значению и составляет 5-6:1, в то время как в исследуемых традиционных культурах это соотношение находится на высоком уровне и составляет 20:1 для риса и 21:1 для пшеницы. Следовательно, по содержанию жиров, ПНЖК и соотношению ω -6: ω -3 кислот, семена киноа превосходят традиционные культуры.

Наиболее предпочтительные соотношения этих показателей установлено для киноа марки "Продукты XXII века" "белого" цвета, для которого содержание жира составило 6,8 %, ПНЖК - 52,87 %. Следовательно, семена киноа марки "Продукты XXII века" "белого" цвета могут быть рекомендованы для обогащения хлебобулочных изделий.

3.3 Определение микробиологических показателей муки киноа

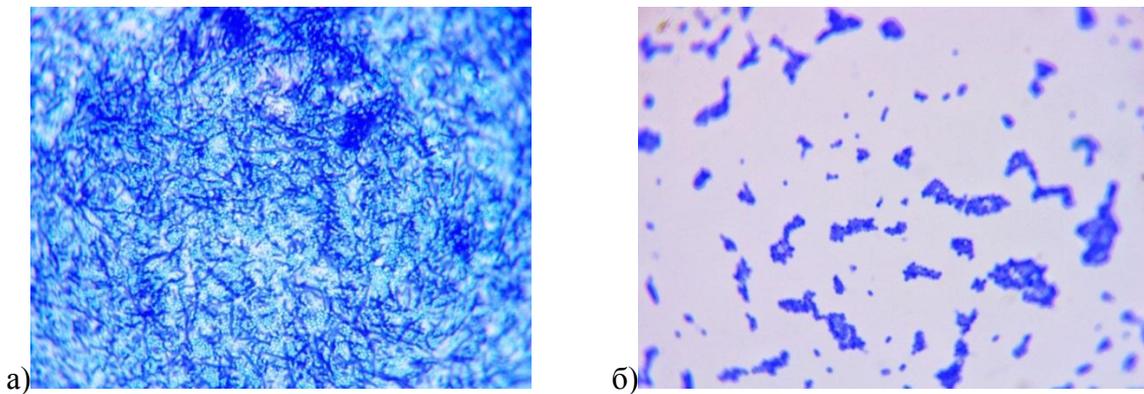
Микробиологическая обсеменённость сырья играет большую роль в формировании конечного качества готовой продукции. Поэтому необходимо установить количество микрофлоры, которая находится на поверхности семян киноа и переходит при уборке и измельчении семян в муку. Нами была изучена микрофлора муки киноа в сравнении с мукой пшеничной первого сорта. Результаты исследований представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Микробиологические показатели муки киноа и муки пшеничной первого сорта

Вид муки	Дрожжи, КОЕ/г	Плесень, КОЕ/г	КМАФАнМ, КОЕ/г	Спорообразующие бактерии, КОЕ/г
Мука киноа	100±15	1400±19	1,1·10 ⁴ ±21	2,7·10 ³ ±15
Мука пшеничная первого сорта	100±13	1500±16	1,6·10 ² ±17	400,0±12

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Количество и состав эпифитной микрофлоры муки характеризует более высокий уровень обсеменённости муки киноа по сравнению с мукой пшеничной 1 сорта. Незначительное увеличение установлено по содержанию плесневых грибов. Мука киноа содержит почти в 65 раз больше колониеобразующих единиц КМАФАнМ и более чем в 6 раз больше спорообразующих бактерий. Следовательно, потенциально возможная обсеменённость муки киноа значительно выше, чем обсеменённость муки пшеничной 1 сорта. Это, вероятно, определяется почвенно-климатическими условиями выращивания киноа и условиями логистики. Для уточнения особенностей видового состава микроорганизмов киноа, входящих в состав группы КМАФАнМ было проведено микроскопирование микроорганизмов в преобладающих колониях. На рисунке 3.4 приведены фотографии препаратов при микроскопировании бактерий колоний КМАФАнМ муки пшеничной первого сорта и муки киноа.



а) мука пшеничная первого сорта; б) мука киноа

Рисунок 3.4 – Микроскопирование колоний КМАФАнМ (увеличение $\times 100$)

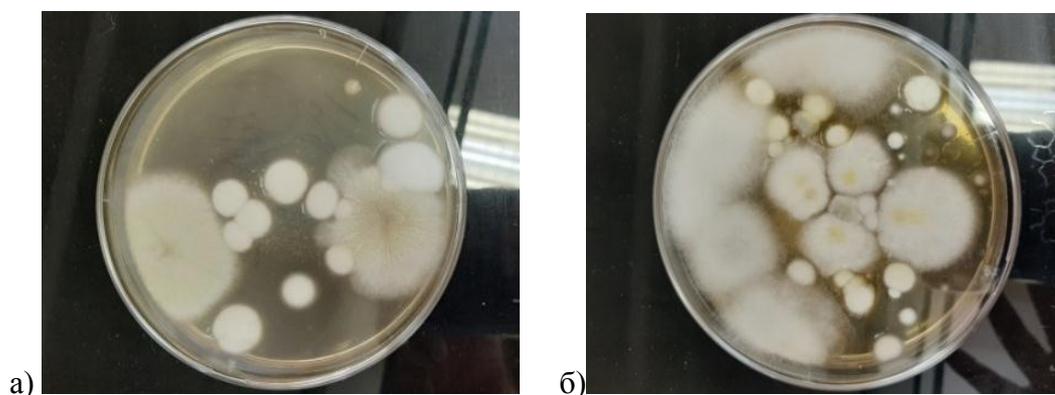
Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

При микроскопировании колоний КМАФАнМ, выросших при посеве муки киноа, представленных на рисунке 3.4 б, выявлено наличие одиночных палочковидных и диплобактерий. При микроскопировании колоний КМАФАнМ, выросших при посеве пшеничной муки, представленных на рисунке 3.4 а выявлены различные виды кокков. Кокки располагаются по одиночке (микрочкокки); попарно (диплококки).

Для определения потенциальной микробиологической безопасности хлебобулочных изделий с добавлением муки киноа проводили определение содержания спорообразующих бактерий, в том числе бактерий *Bacillus subtilis*, которые могут вызывать картофельную болезнь хлеба. Картофельная палочка при наличии влаги в благоприятных условиях может быстро развиваться и размножаться. При температуре выше 80°C вегетативные клетки погибают, а споры

выдерживают температуру 120 °С в течение часа, поэтому споры при выпечке хлеба не погибают и могут вызывать картофельную болезнь хлеба, кроме того, бактерии рода *Bacillus subtilis*, могут проявлять патогенные свойства. Мука киноа более обсеменена бактериями рода *Bacillus subtilis*, чем мука пшеничная, этот факт необходимо учитывать при разработке технологии обогащения хлебопродуктов мукой киноа.

Из таблицы 3.9 видно, что оба вида муки содержат большое количество плесневых грибов, в пшеничной муке – 1500 КОЕ/г и в муке киноа – 1400 КОЕ/г, мука киноа более обсеменена спорами грибов, что также необходимо учитывать при производстве обогащенного хлеба (рисунок 3.5).



а) мука пшеничная первого сорта; б) мука киноа

Рисунок 3.5 – Обсемененность муки спорами плесневых грибов

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Анализ результатов микробиологического исследования муки киноа показал, что данный продукт является более обсемененным по сравнению с мукой пшеничной первого сорта. Таким образом, при использовании муки киноа в качестве рецептурного ингредиента, целесообразно использовать технологию производства обогащённого пшеничного хлеба с использованием заквасочных культур, которые при размножении приводят к повышению кислотности и снижают риск размножения многих видов бактерий в т.ч. спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis* и плесневых грибов и повышают микробиологическую безопасность готовых изделий.

Выводы по третьей главе. Полученные результаты проведенных исследований свидетельствуют о высокой пищевой и биологической ценности различных видов киноа, на что указывает высокое содержание белка, сбалансированный аминокислотный состав и наличие полиненасыщенных жирных кислот с оптимальным соотношением ω -6 и ω -3 жирных кислот. Содержание незаменимых аминокислот лизина, метионина и гистидина в семенах киноа превышает

ет их содержание в пшенице и других зерновых сельскохозяйственных культурах, следовательно, обогащение пшеничного хлеба мукой киноа позволяет повысить биологическую ценность пшеничного хлеба и осуществлять направленную коррекцию его аминокислотного состава.

Псевдозерновая культура киноа содержит большое количество макро- и микроэлементов в количествах, позволяющих осуществлять коррекцию состава эссенциальных минеральных веществ. По комплексу показателей химического состава, органолептических и физико-химических показателей в качестве источника функциональных ингредиентов для обогащения пшеничного хлеба был научно обоснован выбор семян киноа "Продукты XXII века" "белого" цвета.

Установлено, что мука киноа "Продукты XXII века" "белого" цвета имеет более высокий уровень микробиологической обсемененности по сравнению с пшеничной мукой, поэтому повышается потенциальный риск развития картофельной болезни готовых обогащенных хлебобулочных изделий. Для повышения микробиологической стабильности готовых изделий рекомендовано использование комплексных молочнокислых заквасочных культур при разработке технологии обогащения пшеничного хлеба мукой киноа.

Глава 4 Формирование потребительских свойств хлеба пшеничного, обогащенного функциональными ингредиентами муки киноа

4.1 Влияние муки киноа на хлебопекарные свойства муки пшеничной первого сорта

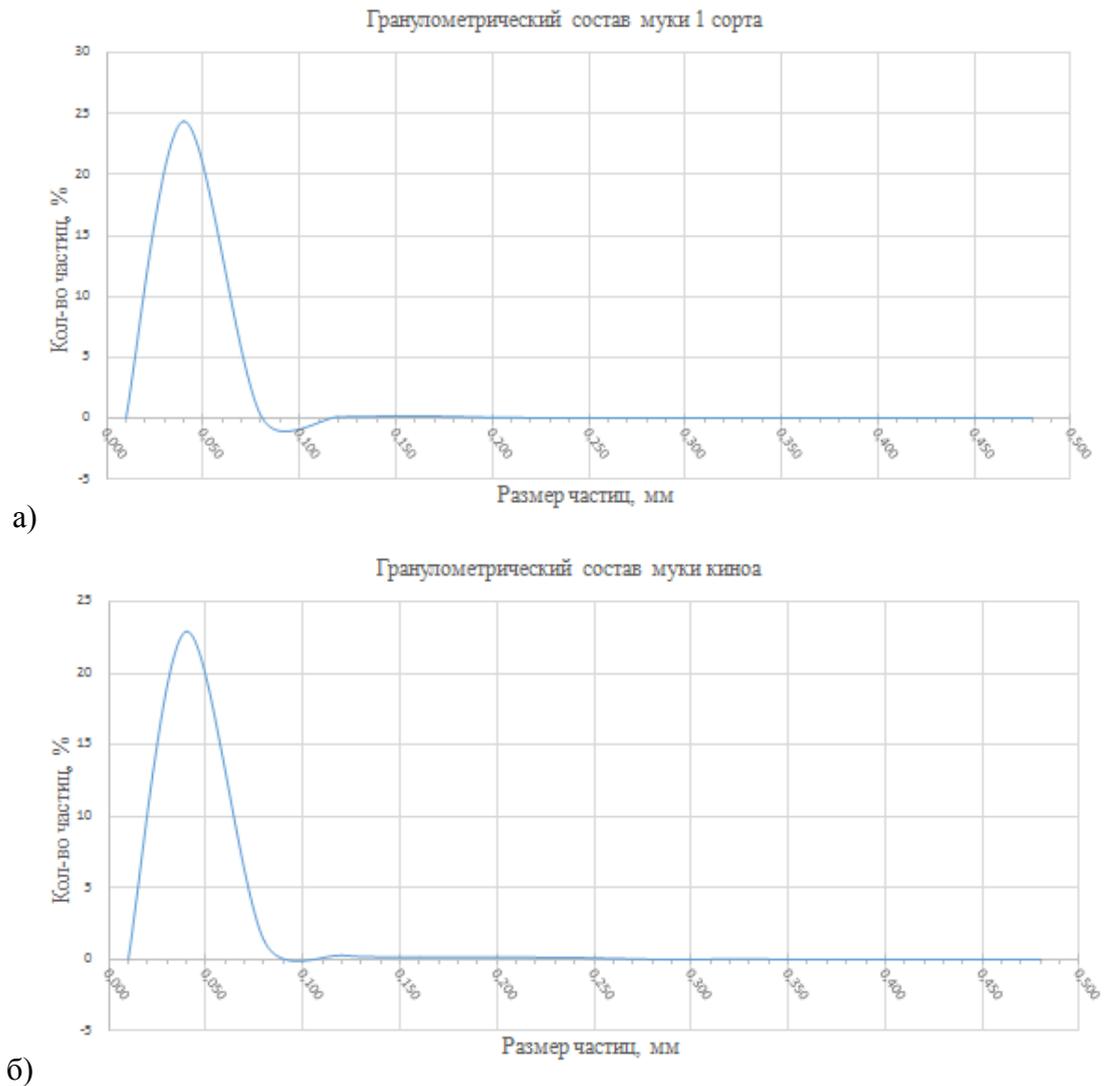
В качестве объекта исследования использовали муку киноа белую цельнозерновую (сорт высший), торговой марки "Продукты XXII века", изготовленную по ТУ 10.61.22-004-05604978. Муку киноа использовали для направленной коррекции химического состава пшеничной муки. На потребительские свойства хлебобулочных изделий в первую очередь влияет химический и гранулометрический состав основного сырья – муки пшеничной и муки киноа [193, с. 71-76].

Размер частиц муки влияет на реологические характеристики теста, активность протекания в тесте коллоидных и биохимических процессов, определяет коагуляционно-кристаллизационную структуру теста и в результате влияет на выход и показатели качества готового хлеба. Под дисперсностью частиц муки понимают степень измельчения зерна, однородность, размер и форму частиц. Для проведения оценки интегрального показателя - степени измельчения зерна рекомендуется применять критерий – средний размер частиц. Чем меньше размер частиц, тем выше дисперсность.

В хлебопекарной промышленности используется классификация степени дисперсности хлебопекарной муки, предложенная Оствальдом, которая включает смесь тонкодисперсных и грубодисперсных частиц с размером от 0,1 до 10 и более 10 мкм соответственно [205, с. 56-58]. Гранулометрический состав муки характеризуется размером частиц. Размер частиц муки существенно влияет на структурно-механические характеристики теста и готовых хлебобулочных изделий. Известно, что с уменьшением размера частиц муки увеличивается их общая удельная поверхность и повышается водопоглотительная способность муки. Для создания детерминированной модели размола зерна определяют гранулометрический состав, характер распределения частиц, форму и размеры частиц, что позволяет анализировать характер помола и определять влияние этого критерия на технологический процесс производства обогащенного хлеба.

На первом этапе были проведены исследования для установления размера частиц муки киноа, произведенной в промышленных условиях и пшеничной хлебопекарной муки первого сорта, используемых для производства обогащенного хлеба. Размер частиц муки киноа должен находиться в близком диапазоне к частицам пшеничной муки, используемой в качестве основного сырья в рецептуре хлеба. Кроме размера частиц при оценке гранулометрического состава проводится определение гладкости, коэффициента вытянутости, отношения фактического пе-

риметра частицы к периметру круга равной площади. При анализе дисперсности исследуемых видов муки, кроме размера, проводили определение морфологических характеристики частиц муки: коэффициента вытянутости частиц и их гладкость, отношение фактического периметра частицы к периметру круга равной площади. Определение гранулометрического состава и морфологических особенностей муки киноа и муки пшеничной первого сорта проведено на приборе гранулометр ГИУ-1, результаты представлены на рисунке 4.1.



а) мука пшеничная первого сорта; б) мука киноа

Рисунок 4.1 – Гранулометрический состав

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Анализируя показатели, представленные на рисунке 4.1 видно, что преобладающее количество частиц муки киноа (около 70 %) находится в диапазоне от 0,06 до 0,15 мм, частицы

муки пшеничной сконцентрированы в большей степени в диапазоне от 0,05 до 0,12 мм. Анализ размерных характеристик (таблица 4.1) показал, что по гранулометрическому составу два исследованных образца были близки по размерным характеристикам. Мука киноа имела более мелкий помол и 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 сравнении с мукой пшеничной хлебопекарной первого сорта.

В среднем, гранулометрический состав муки киноа близок к размерным фракциям пшеничной муки. Следовательно, можно предположить, что эти два вида муки позволяют получить совместимое по размерным характеристикам сырье для производства хлеба.

Таблица 4.1 – Средний размер и морфологические особенности частиц муки киноа и муки пшеничной первого сорта

Вид муки	Характеристика частиц исследуемых видов муки		
	$d_{э\text{кв}}$, мкм	Гладкость (G)	Вытянутость (V)
Мука киноа	141,8±0,12	2,22±0,11	1,84±0,08
Мука пшеничная первого сорта	131,6±0,09	2,26±0,15	1,92±0,05

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

По данным Урлаповой И.Б. [194], при увеличении средневзвешенных размеров частиц муки, происходит повышение качества хлеба, а увеличение содержания вытянутости частиц в муке приводит к ухудшению его свойств. 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. Сравнительная характеристика физико-химических показателей качества хлебопекарной пшеничной муки первого сорта и муки киноа представлена в таблице 4.2.

Сравнивая физико-химические показатели видно, что мука киноа имеет более высокую кислотность (6,3 град) и более низкое значение белизны – 20 ед., по сравнению с пшеничной мукой – 3,6 град и 47 ед. соответственно. При этом мука киноа не содержит клейковину.

На следующем этапе изучено влияние муки киноа на хлебопекарные характеристики теста. Установлено влияние дозы внесения муки киноа в рецептурную смесь на количество и качество клейковины, показатели, характеризующие хлебопекарные свойства муки.

Таблица 4.2 – 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)	-

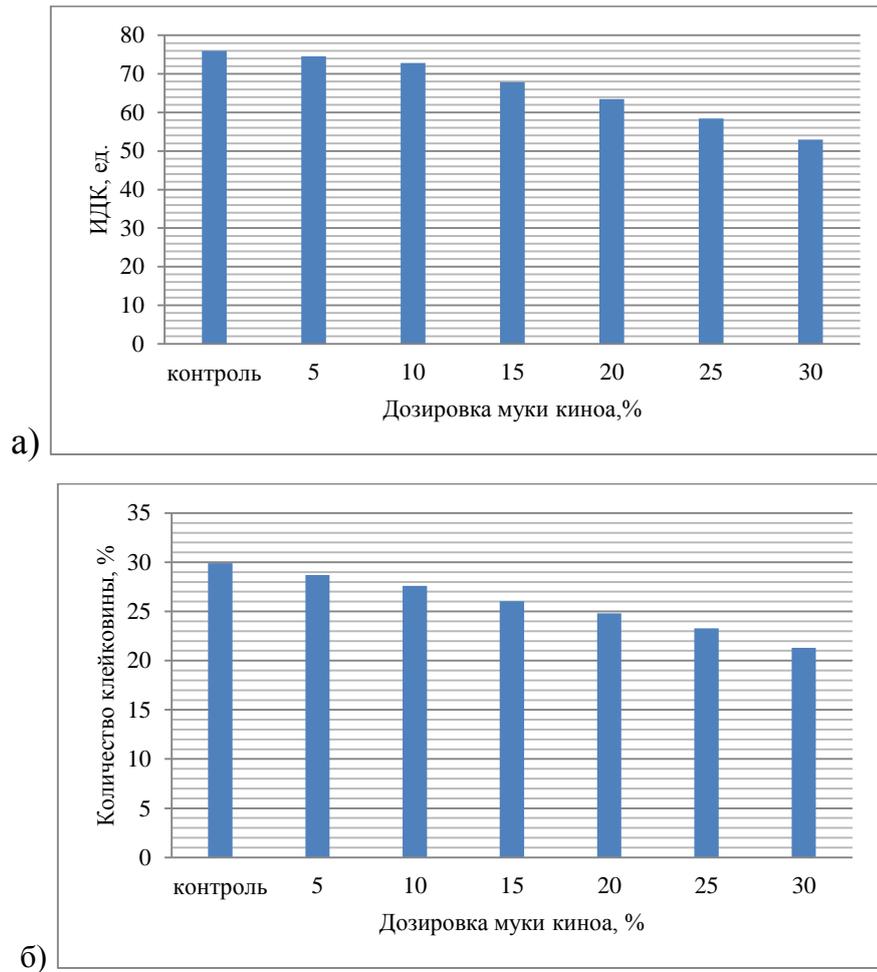
Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Установлено влияние замены пшеничной муки в рецептуре пшеничного хлеба на муку киноа в диапазоне от 5 % до 30 %, с шагом концентраций – 5 %, на изменение количества и качества клейковины (рисунок 4.2).

При внесении муки киноа происходит постепенное уменьшение содержания клейковины и снижается ее качество, что объясняется тем, что в муке киноа отсутствует клейковина, это приводит к снижению относительного содержания клейковины в рецептурной смеси для производства хлеба. Сила пшеничной муки зависит от состояния белково-протеиназного и углеводно-амилазного комплекса, от содержания и свойств крахмала, от активности ферментов, этих комплексов.

Важным критерием при определении хлебопекарных свойств муки служит показатель автолитической активности, которая характеризует активность гидролиза сложных органических веществ, в т.ч. крахмала под действием эндоферментов. Стандартным для определения автолитической активности муки является метод определения числа падения, характеризующий вязкость прогретой на водяной бане водно-мучной суспензии в течение 60 с. Для пшеничной муки наиболее приемлемым является число падения в интервале 230-300 с. При этом образуется мякиш хлеба с хорошей эластичностью, хорошо развитой пористостью. При значении числа падения ниже 230 с в тесте будет высокая газообразующая способность, низкая способность клейстеризации, мякиш хлеба будет влажный и неэластичный. При значении более 300 с будет очень слабая газообразующая способность, мякиш будет сухой и неэластичный. Исследовано влияние муки киноа на углеводно-амилазный комплекс пшеничной муки, и в частности, на автолитическую активность.

Данные приведены на рисунке 4.3.



а) качество клейковины; б) количество клейковины.

Рисунок 4.2 – Влияние дозировок муки киноа

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

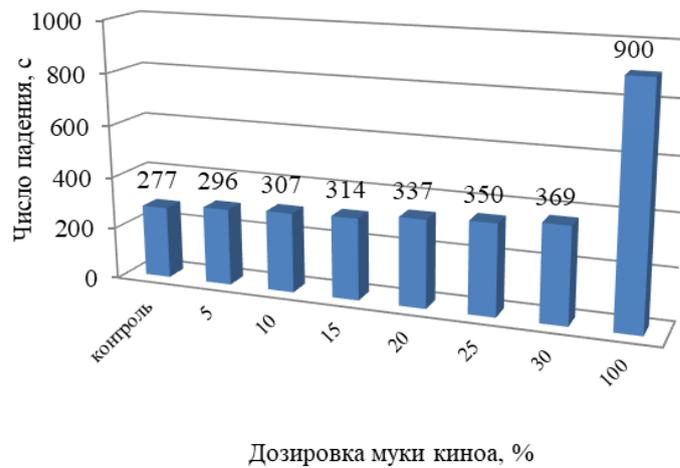


Рисунок 4.3 – Влияние муки киноа на автолитическую активность пшеничной муки 1 сорта
 Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Анализируя данные, представленные на рисунке 4.3, можно отметить, что число падения муки пшеничной, без добавления муки киноа составило 277 с, что характеризует хороший уровень амилолитической активности, обеспечивающий получение хлеба с хорошо развитой пористостью и эластичностью. Добавление муки киноа приводит к повышению числа падения в смеси муки, чем выше концентрация муки киноа – тем выше число 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. Это может быть объяснено либо наличием ингибиторов ферментного комплекса в составе муки киноа или низкой активностью амилолитических ферментов муки киноа, либо низкой доступностью крахмала, что приводит к дефициту субстрата для деятельности ферментов.

Мука киноа обладает низкой активностью α -амилазы (число падения 900 с), поэтому ее целесообразно использовать в качестве добавки для приготовления хлебобулочных изделий из пшеничной муки с высокой амилолитической активностью, массовая доля в смеси с пшеничной мукой не должна превышать 20 %, без использования дополнительных технологических приемов тестоведения.

Следовательно, при разработке технологии производства обогащенного хлеба, нужно будет 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) и свойств крахмала муки на активность клейстеризации и позволяет определить температуру клейстеризации. Данные представлены в таблице 4.3.

Анализ данных показывает, что температура начала клейстеризации крахмала в образцах с добавлением 20 % - 30 % муки киноа повышается по отношению к контрольному образцу, что на данном этапе усиливает дезагрегирующие и гидролитическое действие ферментов муки, снижая при этом вязкость суспензии. Увеличение вязкости может быть связано с тем, что у муки киноа более низкая ферментативная активность по сравнению с мукой пшеничной первого сорта. С началом клейстеризации крахмала муки до достижения максимума клейстеризации, этот участок амилограммы характеризуется быстрым нарастанием вязкости при увеличении процентного количества муки киноа. Нарастание вязкости свидетельствует о том, что активность амилолитических ферментов снижается (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Показатели вязкости водно-мучных суспензий пшеничной муки, смеси пшеничной муки и муки киноа

Показатель	Дозировка муки киноа, %						
	мука пшеничная 1 сорта	мука пшеничная 1 сорта + 5 % муки киноа	мука пшеничная 1 сорта + 10 % муки киноа	мука пшеничная 1 сорта + 15 % муки киноа	мука пшеничная 1 сорта + 20 % муки киноа	мука пшеничная 1 сорта + 25 % муки киноа	мука пшеничная 1 сорта + 30 % муки киноа
Максимум клейстеризации, ЕА	414	1265	1299	1336	1400	1471	1490
Температура клейстеризации, °С	76,4	89,3	89,1	89,3	89,3	89,5	89,9

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

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 фаринографе. В таблице 4.4 представлены показатели фаринограмм, характеризующие свойства проб пшеничной муки без добавления киноа (контроль) и с добавлением муки киноа.

Таблица 4.4 – Реологические показатели теста из муки пшеничной 1 сорта и теста с добавлением различных дозировок муки киноа, полученные на фаринографе

Показатель	Мука пшеничная 1 сорта	Мука пшеничная 1 сорта + 5 % муки киноа	Мука пшеничная 1 сорта + 10 % муки киноа	Мука пшеничная 1 сорта + 15 % муки киноа	Мука пшеничная 1 сорта + 20 % муки киноа	Мука пшеничная 1 сорта + 25 % муки киноа	Мука пшеничная 1 сорта + 30 % муки киноа
Влажность муки, %	12,1	12,2	12,2	14,6	14,2	13,8	13,6
Консистенция, ЕФ	504	488	513	499	520	482	505
Водопоглощение, %	59,6	60,2	60,8	60,4	60,8	61,1	65,6
Время образования, мин	2,3	2,0	2,0	2,0	1,5	1,8	1,5
Устойчивость, мин	18,9	18,8	15,1	10,4	10,1	10,0	1,2
Разжижение, ЕФ	38	29	40	48	49	52	67

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Согласно данным таблицы 4.4, внесение муки киноа взамен пшеничной увеличивает ВПС теста, это связано с большим содержанием не крахмалистых полисахаридов, которые связывают воду. Повышенная водопоглотительная способность пшеничного теста при добавлении муки киноа способствует увеличению выхода готовых изделий. Во всех опытных пробах муки наблюдали уменьшение периода образования теста, при этом следует отметить, что с повышением дозировки муки киноа до 30 % продолжительность образования теста сокращалась до 1,5-2,3 минут, относительно проб теста с дозировкой муки киноа 10 %.

Добавление муки киноа в рецептуру пшеничного теста способствует более медленному образованию теста, что, возможно, связано с более высоким содержанием белковых веществ, пищевых волокон. Увеличение водопоглотительной способности теста создает лучшие условия для клейстеризации крахмала, поглощения влаги белковыми веществами, способствует формированию равномерной консистенции и устойчивости теста. Кроме того это приводит к увеличению выхода готовых изделий и при постоянном контроле данного параметра возможно вырабатывать хлебобулочные изделия повышенного качества [15; 221, с. 129-133].

Учитывая вышеизложенное, муку киноа целесообразно использовать в качестве добавки для приготовления хлебобулочных изделий из пшеничной муки с высокой амилолитической активностью ферментов, массовая доля муки киноа, без использования дополнительных технологических приемов для улучшения процесса тестоведения, не превышает 15 %.

На следующем этапе исследований определяли газообразующую и газодерживающую способности пшеничной муки первого сорта с добавлением муки киноа на приборе реоферментометр F3. Газообразующая способность муки является важным технологическим показателем при производстве хлебобулочных изделий. Зная показатели газообразования и газодержания в тесте, можно оптимизировать параметры процесса его брожения. Газообразующую способность теста с добавлением муки киноа определяли по объему углекислого газа, выделившегося в процессе брожения в течение 300 мин. Полученные результаты представлены на рисунке 4.4.

Выявлено, что внесение муки киноа сокращает продолжительность процесса брожения теста. При внесении 5 % муки киноа брожение теста сокращается на 58,7 %, 10 % – на 63,5 %, 15 % – на 63,6 %, 20 % – на 71,2 %, 25 % – на 76,1 %, 30 % – на 76,6 %. Очевидно, это связано с увеличением питательных веществ в тесте за счет обогащения мукой киноа, таких как белки, витамины, минералы, и др. Увеличение показателя газодерживающей способности теста возможно связано с высоким содержанием белковых веществ в муке киноа (14,5 %) и также коррелирует с максимальным накоплением диоксида углерода в процессе образования теста.

Установлено, что внесение муки киноа в тесто оказывает расслабляющее действие на клейковину, при этом количество клейковины снижалось в зависимости от дозировки муки киноа. Клейковина является важнейшим элементом в процессе тестоприготовления, поэтому для

компенсации снижения доли клейковины в тесте в результате внесения в рецептурную смесь хлеба пшеничного безглютеновой муки киноа, которая используется для направленной коррекции пищевой ценности хлеба, было принято решение о введении дополнительного ингредиента в рецептуру – сухой пшеничной клейковины [138, с. 89; 137, с. 83; 135, с. 466].

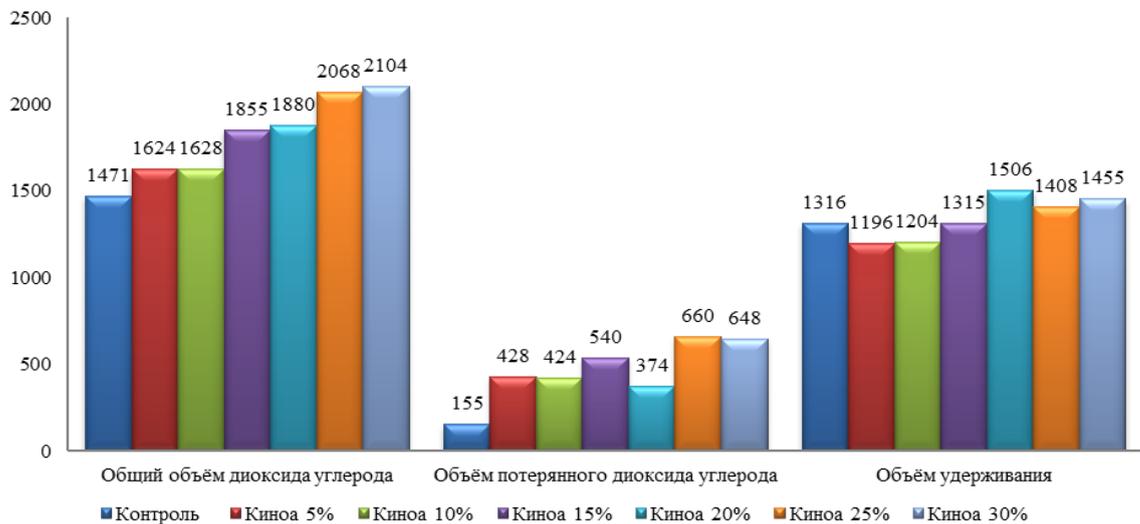


Рисунок 4.4 – Показатели газообразующей и газодерживающей способностей теста из пшеничной муки, смеси пшеничной муки и муки киноа

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Для определения максимально возможной замены пшеничной муки на муку киноа, была проведена пробная выпечка для всех указанных вариантов. Выпечку образцов осуществляли в конвекционной электропечи марки UNOX XB803 (Италия) в течение 20-25 мин при температуре 170 °С. Для обогащения хлебобулочных изделий была использована мука киноа.

4.2 Формирование потребительских свойств и разработка рецептуры хлеба пшеничного, обогащенного функциональными ингредиентами муки киноа

В международном и национальном хлебопекарном бизнесе большое внимание уделяется расширению ассортимента обогащенных и функциональных хлебобулочных изделий. В соответствии с Концепцией обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения путем развития функционального и специализированного хлебопечения в Российской Федерации [136] предусмотрено увеличение объема потребления хлебобулочных изделий функ-

ционального и специализированного назначения до 17 %. Для решения этих задач необходимо осуществлять внедрение новых технологий, позволяющих расширять ассортимент и увеличивать объем производства хлебобулочных изделий нового поколения с заданными потребительскими характеристиками, обогащенных функциональными ингредиентами [64, с. 67-74].

Одним из наиболее перспективных источников эссенциальных функциональных ингредиентов растительного происхождения в практике международного обеспечения продовольственной безопасности считается псевдозерновая культура киноа [65, с. 35-38; 234, с. 180-194; 22, с. 19-24]. Поэтому нами была изучена возможность использования в технологии производства обогащенного хлеба пшеничного муки киноа для направленной коррекции пищевой ценности хлеба. Было проведена оптимизация рецептуры и изучено влияние муки киноа на потребительские характеристики и пищевую ценность обогащенного пшеничного хлеба.

В качестве базовой рецептуры использовали рецептуру, рекомендованную и утвержденную в сборнике рецептов Научно-исследовательского института хлебопекарной промышленности (таблица 4.5) [163].

Таблица 4.5 – Базовая рецептура пшеничного хлеба из пшеничной муки первого сорта [163, 165]

Рецептурный компонент	Количество рецептурных компонентов, %
Мука пшеничная хлебопекарная 1 сорта	100,0
Дрожжи прессованные хлебопекарные	7,5
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	6,0
Соль пищевая	4,5
Сахар белый	6,0
Вода питьевая	По расчету

Для изучения влияния количества вносимой муки киноа на показатели качества хлебобулочных изделий в базовую рецептуру вносили муку киноа с шагом 5 % в количестве от 5 % до 30 %, замещая в рецептуре пшеничную муку. Для определения оптимальной концентрации муки киноа проводили пробные выпечки для каждого варианта.

Лабораторные образцы хлеба выпекали в соответствии с ГОСТ 27669-88 «Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба». Опытные и контрольные образцы хлеба готовили безопасным способом. Для получения теста в лабораторную тестомесильную машину марки BEAR Varimixed TEDDY (Дания) в соответствии с рецептурой вносили

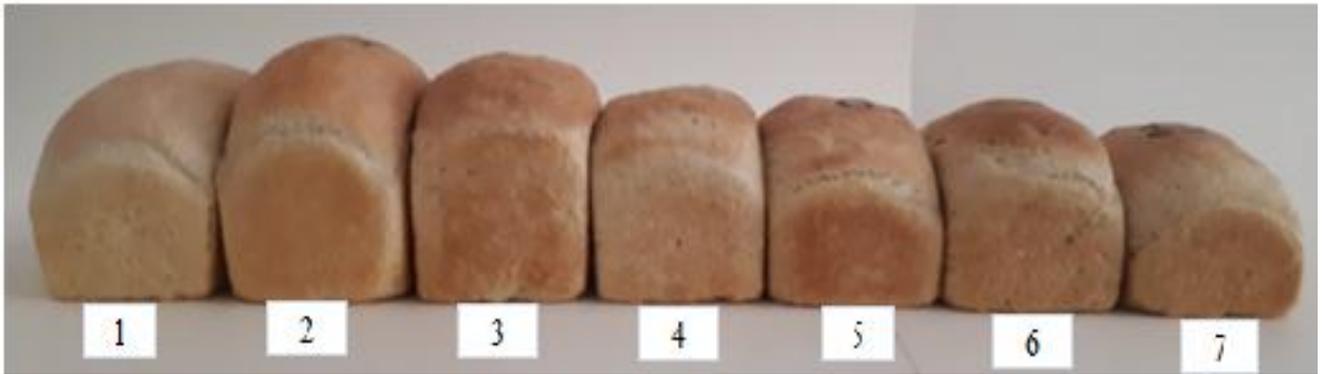
сырье – пшеничную муку 1 сорта, муку киноа, белый сахар, пищевую соль, прессованные дрожжи хлебопекарные, масло подсолнечное рафинированное и дезодорированное и питьевую воду. Параллельно готовили контрольный вариант, по базовой рецептуре без внесения муки киноа. Все сырьевые ингредиенты в соответствии с рецептурой замешивали в лабораторной тестомесильной машине в течение 8–10 мин, брожение теста проводили в течение 90 мин при температуре 28 °С - 30 °С, до титруемой кислотности теста 3,0°Т-3,5°Т. Разделку и формовку теста осуществляли вручную. Готовые тестовые заготовки массой 420 г укладывали в формы для лабораторной выпечки с наружными размерами по низу 10×16 см, по верху 12×17 см и высотой 10 см и помещали в расстоечную камеру UNOX (Италия) при температуре 36 °С - 38 °С и влажности воздуха 75 % - 80 %. Готовность тестовых заготовок определяли по внешнему виду, по скорости выравнивания теста после нажатия. Выпечку образцов осуществляли в конвекционной печи UNOX (Италия) в течение 20-25 мин при температуре 165 °С. Все варианты готовили в 3-х кратной повторности. Полученные образцы хлеба охлаждали после выпечки в течение 24 ч.

Анализ органолептических и физико-химических показателей готовых хлебобулочных изделий проводился в условиях центра технологий, биохимических и микробиологических исследований ФГАНУ НИИХП и на кафедре товароведения и товарной экспертизы РЭУ имени Г.В. Плеханова в соответствии со стандартными методиками: ГОСТ Р 58233-2018 «Хлеб из пшеничной муки. Технические условия»; ГОСТ 5667-65 «Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий».

Исследуемые варианты лабораторной выпечки хлеба существенно различались по внешнему виду целых образцов (рисунок 4.5) и по внешнему виду на разрезе готовых опытных образцов хлеба и контрольного варианта (рисунок 4.6).

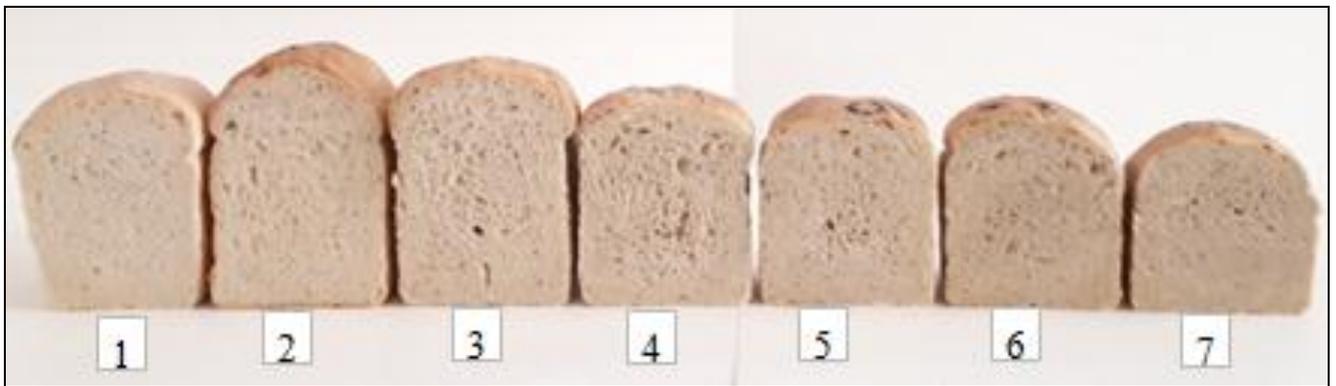
Сопоставляя внешний вид опытных и контрольных образцов, представленных на рисунке 4.5, четко отмечается влияние добавленной муки киноа на органолептические показатели. При введении 5 % и 10 % муки киноа наблюдалось видимое увеличение объема и высоты образцов хлеба. Добавление 15 % муки киноа приводило к снижению высоты образца до уровня, соответствующего контрольному варианту. Дальнейшее увеличение содержания киноа в рецептуре от 20 % до 30 % приводило к уменьшению объема и высоты образцов хлеба.

Аналогичная закономерность влияния муки киноа была установлена при анализе внешнего вида хлеба на разрезе (рисунок 4.6).



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

Рисунок 4.5 – Влияние муки киноа (% внесения в рецептурный состав) на внешний вид хлеба
Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.



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

Рисунок 4.6 – Влияние муки киноа (% внесения в рецептурный состав) на внешний вид готовых изделий (на разрезе)
Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

Проведены сравнительные исследования органолептических и физико-химических показателей качества хлеба из пшеничной муки первого сорта, являющегося контрольным вариантом и 6 вариантов хлеба, обогащенного мукой киноа в количестве от 5 % до 30 % муки киноа от массы пшеничной муки. Результаты анализа органолептических показателей представлены в таблице 4.6.

Анализ органолептических характеристик исследуемых изделий показал, что при внесении муки киноа более 20 % снижаются все исследуемые показатели: на поверхности появляются трещины, цвет приобретает более темный оттенок, пористость становится неравномерной, появляется выраженный привкус и запах добавки [64, с. 67-74].

Таблица 4.6 – Влияние массовой доли муки киноа на органолептические показатели качества пробной лабораторной выпечки хлеба [64, с. 67-74]

Показатель	Контроль	Хлебобулочные изделия с внесением муки киноа в количестве, % от массы муки					
		5	10	15	20	25	30
Форма	правильная, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов, соответствует формовому хлебу, выпеченному в хлебной форме						
Поверхность	гладкая, без подрывов и трещин, цвет светло-коричневый, допускается наличие шва разделителя			не гладкая, без подрывов и трещин, цвет темно-коричневый	не гладкая, не ровная, имеются едва заметные трещины, цвет темно-коричневый	не гладкая, не ровная, с заметными трещинами и подрывами, цвет темно-коричневый	
Цвет	от светло-желтого до темно-коричневого (допускается на выпуклой верхней корке)			от светло-коричневого до темно-коричневого			
Состояние мякиша	эластичный, пропеченный, не липкий и не влажный на ощупь, без комочков, следов непромеса, с равномерной пористостью, без пустот и уплотнений			эластичный, пропеченный, не влажный, без липкости и следов непромеса, без комочков и следов непромеса, пористость не равномерная, без пустот и уплотнений			
Вкус	свойственный данному виду изделия	с легким привкусом вносимой добавки	со средне выраженным привкусом добавки	преобладает выраженный привкус добавки, свойственный киноа			
Запах	запах свойственный данному виду изделия	с легким запахом вносимой добавки	со средне выраженным запахом вносимой добавки	имеется ярко выраженный запах добавки, свойственный киноа			

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

В полученных лабораторных образцах хлеба и в контрольном варианте (без добавления в рецептуру муки киноа) определили физико-химические показатели: удельный объем, пористость, влажность и кислотность хлеба (таблица 4.7).

При анализе данных, представленных в таблице 4.7, установлено, что при внесении муки киноа в рецептуру хлеба показатель удельного объема увеличился при добавлении 5 % муки – на 10 %; 10 % – на 1,5 %; 15 % – на 0,3 % по отношению к контрольному варианту. Дальнейшее увеличение массы вносимой муки киноа приводило к снижению удельного объема пробных опытных выпечек. При введении 20 % муки киноа показатель снизился почти на 20 %. На основании полученных результатов при выбранной рецептуре и технологии производства, оптимальным количеством вносимой муки киноа является 15 % [64, с. 67-74].

Таблица 4.7 – 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±0,012	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±0,012	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

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Для направленной коррекции пищевой ценности хлеба и повышения уровня внесения киноа выше 15 %, для обеспечения необходимого уровня обеспечения физиологически активных веществ, а также для сохранения потребительских свойств хлеба, не уступающих контрольному варианту, для стабилизации структуры клейковины опытных изделий при выпечке, в рецептуру вносили сухую пшеничную клейковину.

Оптимизация рецептуры по соотношению муки киноа и сухой пшеничной клейковины проведена с помощью математического моделирования состава рецептуры с использованием композиционно униформ-ротатабельного планирования эксперимента по программе "MATSTAT" [44; 118]. Для моделирования были использованы результаты пробной выпечки хлеба с последовательным добавлением 2 % муки киноа в диапазоне от 5 % до 30 % и внесением сухой пшеничной клейковины от 1 % до 3 % с шагом 1 %.

В соответствии с матрицей планирования эксперимента, была проведена серия пробных лабораторных выпечек хлебобулочных изделий. Тесто готовили по описанной выше технологии, сухую клейковину вносили в соответствии рецептурой от 1 % до 3 % в комплексе с сухими сырьевыми компонентами и замешивали тестомесильной машине. В полученных экспериментальных и контрольных образцах определяли физико-химические показатели – удельный объем, пористость и кислотность пробных выпечек.

Используя программу «STATISTICA 7.0», был проведен анализ полученных результатов, наглядная графическая интерпретация результатов представлена на рисунке 4.7 (а - зависимость удельного объема от массовой доли сухой пшеничной клейковины; б – зависимость пористости от массовой доли муки киноа; в - зависимость кислотности от массовой доли муки киноа).

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.

$$y_1 = 167,895 + 49,4594 \cdot x_1 - 9,75523 \cdot x_2 + 0,314685 \cdot x_2^2 \quad (4.1)$$

$$y_2 = 2,34326 + 0,00499458 \cdot x_1 + 0,00163504 \cdot x_1^2 \quad (4.2)$$

$$y_3 = 70,724 - 1,42588 \cdot x_1 + 0,03536 \cdot x_1^2 \quad (4.3)$$

$$y_4 = 3,1724 - 0,142588 \cdot x_1 + 0,003536 \cdot x_1^2 \quad (4.4)$$

где y_1 - водоудерживающая способность, %;

y_2 - удельный объем хлеба, см³/г;

y_3 - пористость мякиша хлеба, см³/г;

y_4 - кислотность, град;

x_1 – количество муки киноа, %;

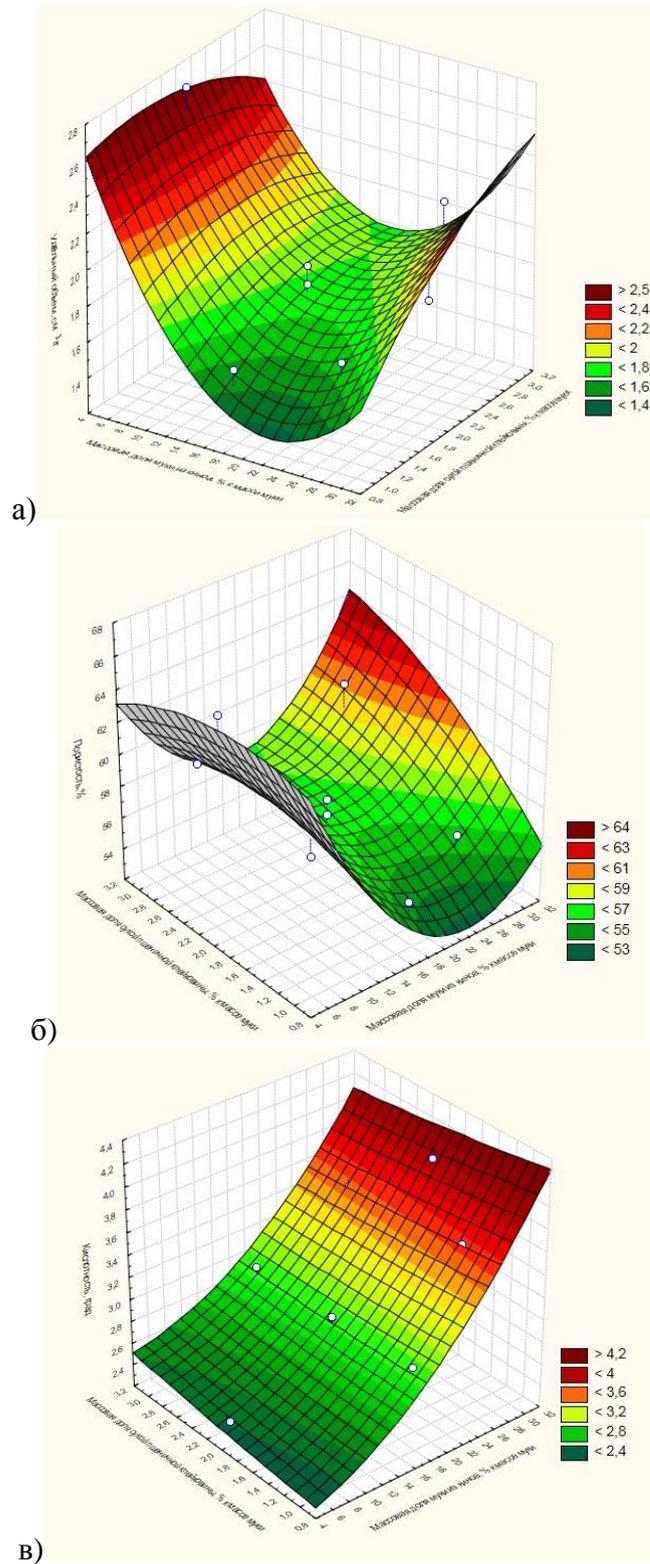
x_2 – количество клейковины, %.

Было установлено, что оптимальные результаты по значениям удельный объем, пористость, кислотность и водоудерживающая способность хлеба достигались при обогащении традиционной рецептурной смеси хлеба мукой киноа в количестве 17 % - 20 % и сухой пшеничной клейковиной – 2 %. На основании полученных результатов была оптимизирована рецептура хлеба, обогащенного мукой киноа, с дополнительным введением сухой пшеничной клейковины (таблица 4.8). В таблице 4.8 приведен оптимизированный состав рецептурных компонентов хлебобулочных изделий, обогащенных мукой киноа и сухой пшеничной клейковиной.

Таблица 4.8 – Оптимизированная рецептура хлеба, обогащенного мукой киноа [64, с. 67-74]

Рецептурный компонент	Количество рецептурных компонентов, %
Мука пшеничная хлебопекарная 1 сорта	81,0
Мука киноа цельнозерновая	17,0
Клейковина сухая пшеничная	2,0
Дрожжи прессованные хлебопекарные	7,5
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	6,0
Соль пищевая	4,5
Сахар белый	6,0
Вода питьевая	По расчету

Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

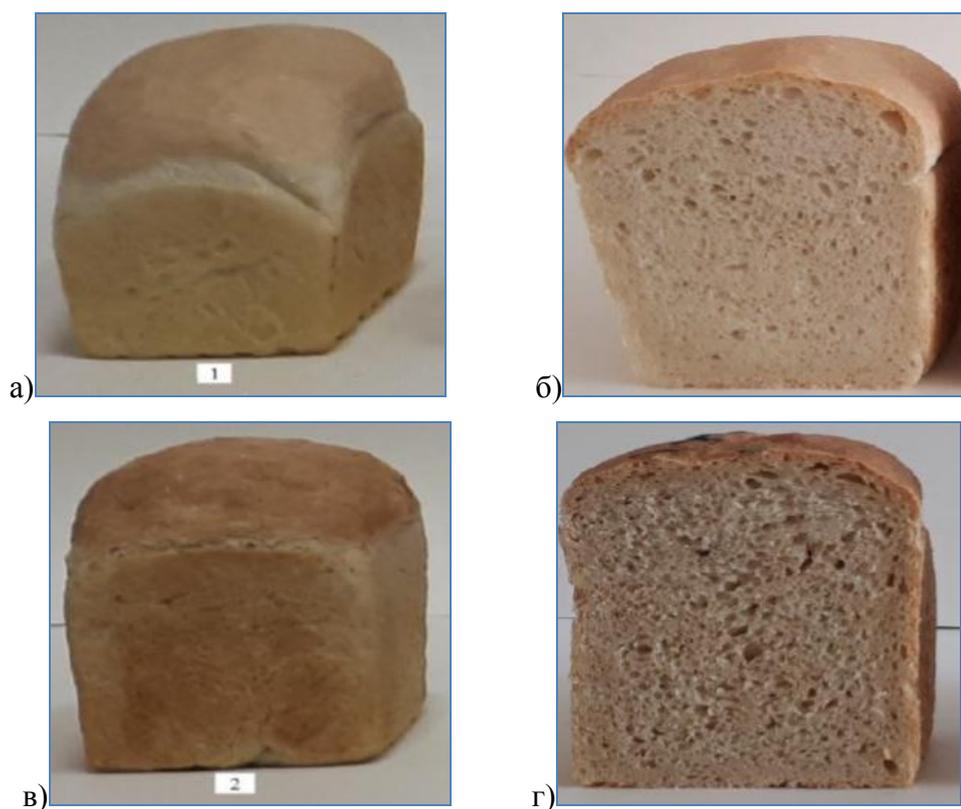


а) удельный объем; б) пористость; в) кислотность

Рисунок 4.7 – Поверхность отклика зависимости физико-химических показателей образцов пробной выпечки от содержания муки киноа и сухой пшеничной клейковины в рецептуре хлеба. Графическая интерпретация результатов, полученных с использованием программы «STATISTICA 7.0»

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

В соответствии с разработанной рецептурой была произведена пробная лабораторная выпечка образцов, обогащенных мукой киноа и с добавлением сухой пшеничной клейковины. Контрольный вариант был получен по аналогичной рецептуре, но не содержал муки киноа и сухую пшеничную клейковину. Внешний вид полученных образцов и внешний вид на разрезе представлен на рисунке 4.8. Анализ органолептических показателей показал, что полученные опытные образцы обогащенного хлеба по всем показателям, в т.ч. по внешнему виду, вкусу и аромату, превосходили контрольный, необогащенный вариант хлеба.



- а) внешний вид контрольного образца; б) внешний вид контрольного образца в разрезе;
в) хлеб, обогащенный мукой киноа (17 %) и сухой пшеничной клейковиной (2 %);
г) хлеб, обогащенный мукой киноа (17 %) и сухой пшеничной клейковиной (2 %) в разрезе

Рисунок 4.8 – Внешний вид хлеба обогащенного мукой киноа с добавлением сухой пшеничной клейковины

Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

Следующим важным шагом является определение влияния обогащения киноа пшеничного хлеба на его пищевую ценность. Используя международную и национальную базы данных химического состава пищевых продуктов, в соответствии с методикой и компьютерной про-

граммой НИИХП было рассчитано содержание основных функциональных ингредиентов в обогащенном образце пшеничного хлеба (17 % муки киноа и 2 % сухой пшеничной клейковины), полученных по оптимизированной рецептуре [64, с. 67-74; 119, с. 32–37; 266, с. 48–59; 123, с. 36–38]. В таблице 4.9 приведена расчетная пищевая ценность обогащенного хлеба и контрольного образца (без содержания муки киноа и пшеничной клейковины) и рассчитана на степень удовлетворения суточной потребности в функциональных ингредиентах.

Таблица 4.9 – 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 (В1)	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		

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Расчет химического состава в 100 г хлебобулочных изделий показывает, что содержание всех изучаемых функциональных ингредиентов обогащенного хлеба выше, чем у контрольного образца. Уровень удовлетворения суточной потребности в основных пищевых веществах рассчитан в соответствии с МР 2.3.1.2432-08 [129]. Наиболее существенное увеличение произошло по содержанию белка (почти на 50 %), удовлетворение суточной потребности составило около 20 %; пищевых волокон – содержание увеличилось на 16 % (удовлетворение суточной потребности – 17 %); 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 позволяют рекомендовать оптимизированную рецептуру для производства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа с дополнительным внесением пшеничной клейковины.

4.3 Влияние технологии производства на потребительские свойства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа

Качество пшеничного хлеба зависит от технологии производства. Технология производства хлеба оказывает существенное влияние не только на органолептические и физико-химические показатели качества хлеба, но также определяет продолжительность и трудоемкость процесса, его себестоимость. Опарный способ приготовления теста по сравнению с безопарным способом и безопарным способом с применением КМКЗ, является более трудоемким и затратным. В связи с этим было проведено изучение сравнительной характеристики потребительских свойств и микробиологической стабильности хлеба из пшеничной муки 1 сорта, обогащенного мукой киноа, в количестве 17 % с добавлением в рецептуру хлеба 2 % сухой пшеничной клейковины, произведенного с использованием разных технологий, традиционно используемых в хлебопечении: безопарным способом (далее – БЕЗОП); безопарным способом с добавлением концентрата молочнокислой закваски (далее – КМКЗ); опарным способом при добавлении муки киноа в опару (КВО) и опарным способом при добавлении муки киноа непосредственно в тесто (КВТ); в качестве контрольного образца (К) служил хлеб, приготовленный безопарным способом без внесения в рецептуру муки киноа.

Особенности технологии изготовления хлебобулочных изделий:

- безопарный способ является однофазным. Он заключается в приготовлении теста при одновременном внесении всего сырья по рецептуре, продолжительность брожения 90 мин с последующей разделкой, формовкой и выпечкой изделий [163];

- опарный способ делится на две стадии: первая - приготовление опары, вторая - приготовление теста. Для приготовления опары используется 50 % пшеничной муки и 50 % муки киноа от общего количества, дрожжей и воды, время брожения – 3 часа. При производстве теста используется опара, к которой добавляется оставшиеся 50 % пшеничной муки и мука киноа, сухая пшеничная клейковина, а также другое сырье по рецептуре. Продолжительность брожения теста составляет 80 мин. После чего тесто подвергается разделке и формовке. Использовал-

ся также опарный способ приготовления с добавлением муки киноа непосредственно в тесто [164].

Способ приготовления с использованием концентрированной молочнокислой закваски (далее КМКЗ) является многофазным. Приготовление КМКЗ осуществлялось в соответствии с технологической инструкцией ФГАНУ НИИХП. Тесто замешивают на закваске с добавлением сырья по рецептуре. Продолжительность брожения 60 мин с последующей разделкой, формовкой и выпечкой изделий. В соответствии с рекомендациями ФГАНУ НИИХП, вносится 10 % от общей массы муки, концентрированной молочнокислой закваски (КМКЗ), приготовленной на чистых культурах молочнокислых бактерий или молочнокислых и бифидобактерий (кислотность в пределах от 14 до 18 град) [162].

Учитывая, что при добавлении в рецептуру муки киноа происходит снижение объемного выхода хлеба и увеличивается обсемененность муки, был использован принятый в хлебопечении прием повышения качества хлеба за счет дополнительного использования молочнокислых заквасок.

Преимущества применения молочнокислых заквасок обусловлены тем, что образующаяся в процессе молочнокислого брожения молочная кислота активизирует рост дрожжей, подавляет развитие посторонних микроорганизмов, в т.ч. маслянокислых, гнилостных и патогенных бактерий. Пшеничный хлеб приобретает более обогащенный вкус и аромат, улучшаются реологические характеристики хлеба, хлеб медленнее черствеет.

В этой связи для нивелирования установленных негативных факторов, которые привносят обогащение мукой киноа, кроме добавления 2 % сухой пшеничной клейковины была использована технология безопасного производства хлеба с применением комплексной молочнокислой закваски, разработки ФГАНУ НИИХП [165].

Для пробной лабораторной выпечки тесто готовили по стандартной, методике в соответствии с оптимизированной рецептурой. Установлено влияние технологии производства на технологические показатели и продолжительность процесса тестоприготовления, на органолептические показатели качества готовых изделий, физико-химические и структурно-механические показатели качества хлеба, степень черствости, скорость черствения, активность воды, микробиологическую стабильность и устойчивость к поражению хлебной болезнью. Сравнительная характеристика показателей, характеризующих эффективность технологического процесса при производстве пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа, представлен в таблица 4.10).

Использование безопасного способа производства пшеничного хлеба с использованием КМКЗ позволяет сократить продолжительность брожения теста по сравнению с опарным на 120 мин и при безопасном способе – на 30 мин. Влияние способов производства на физико-химические и органолептические показатели качества представлено в таблице 4.11.

Таблица 4.10 – Физико-химические показатели качества теста при разных технологиях производства

Показатель	Способ приготовления теста		
	опарный	безопарный	безопарный с КМКЗ
Продолжительность брожения, мин	180	90	60
Продолжительность расстойки, мин	20	30	30
Кислотность опары, град	3,2	-	-
Кислотность теста, град	3,5	3,2	3,6
Температура выпечки, °С	170		
Продолжительность выпечки, мин	30	20	20

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Таблица 4.11 – Влияние технологии производства на потребительские свойства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа

Показатель	Способ приготовления теста				
	контроль	безопарный на КМКЗ	опарный		безопарный
			мука киноа, добавленная в тесто (КВТ)	мука киноа, добавленная в опару (КВО)	
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	0,43±0,09	0,63±0,14	0,75±0,03	0,58±0,11	0,57±0,06
<i>Органолептические показатели</i>					
Внешний вид хлеба:					
Форма	соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов				
Поверхность	ровная, гладкая, без крупных трещин и подрывов				
Цвет корки	светло-коричневый	золотисто-коричневый	золотисто-коричневый	светло-коричневый	золотисто-коричневый

Продолжение таблицы 4.11

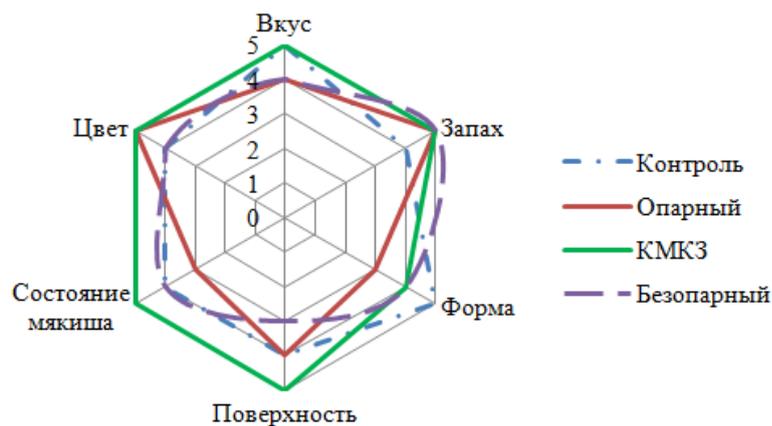
Показатель	Способ приготовления теста				безопасный
	контроль	безопасный на КМКЗ	опарный		
			мука киноа, добавленная в тесто (КВТ)	мука киноа, добавленная в опару (КВО)	
Форма корки	выпуклая				
Состояние мякиша:					
цвет	белый	белый с серым оттенком			
пористость	развитая, без пустот и уплотнений, тонкостенная, равномерная, отслоение корки от мякиша отсутствует				
Вкус	свойственный пшеничному хлебу	свойственный с приятным привкусом киноа			
Запах	свойственный пшеничному хлебу	свойственный с приятным запахом киноа			

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

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. 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 %.

Органолептические показатели качества хлеба являются определяющими критериями при выборе технологии производства. Для проведения органолептической оценки были составлены 5-ти балльные количественные шкалы, описывающие органолептические характеристики по показателям цвет, вкус, запах, форма, состояние поверхности и состояние мякиша образца для оценки образцов в соответствии с рекомендациями по составлению органолептического профиля по ГОСТ ISO 13299-2015 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство по составлению органолептического профиля».

Сравнительная характеристика органолептических показателей качества готового хлеба пшеничного, обогащенного 17 % муки киноа с добавлением 2 % сухой пшеничной клейковины, произведенного по разным технологиям и контрольного варианта представлены на профилеграмме (рисунок 4.9).



Рисунки 4.9 – Влияние технологии производства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа на органолептические показатели качества, балл

Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

Качество и органолептические показатели хлеба являются определяющими критериями при выборе технологии производства. Сравнительная характеристика органолептических показателей качества готового хлеба пшеничного, обогащенного 17 % муки киноа с добавлением 2 % сухой пшеничной клейковины, полученного с использованием безопарного способа производства с использованием концентрата молочнокислой закваски (КМКЗ), не только позволяет сократить продолжительность брожения теста по сравнению с опарным и безопарным способом, но позволяет получить хлеб, отличающийся более выраженным вкусом и запахом, имеет эластичную, равномерную и хорошо развитую структурой мякиша.

Для оценки качественных изменений, происходящих на всех этапах тестообразования и выпечки хлеба необходимо использовать интегральный метод, характеризующий суммарное влияние технологических факторов на качественные и количественные характеристики хлеба. Черных В.Я. с сотрудниками [207] на основании результатов многолетних исследований предложили использовать показатели, отражающие ответную реакцию всей пищевой системы в процессе воздействия многих переменных факторов, отражающих состояние полуфабриката и готовой продукции – реологические показатели, характеризующие структурно-механические свойства, которые являются интегральными критериями, позволяющими сократить время и затраты на разработку новых технологических решений. В этой связи исследователи используют критерии структурно-механических показателей для оптимизации рецептуры и технологии хлеба. Показано изменение показателей пористости, удельного объема хлеба, формоустойчивости, деформации мякиша и других реологических характеристик при оптимизации технологии обогащения хлеба мукой киноа, льняной мукой и другими сырьевыми компонентами [107].

Важной характеристикой при обосновании выбора технологии производства хлеба является его скорость черствения при хранении. Черствение обусловлено в основном изменением реологических характеристик мякиша. Черствение обусловлено снижением сжимаемости, эластичности и пластичности мякиша, увеличением крошковатости при нарезании изделий. 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 4.10.

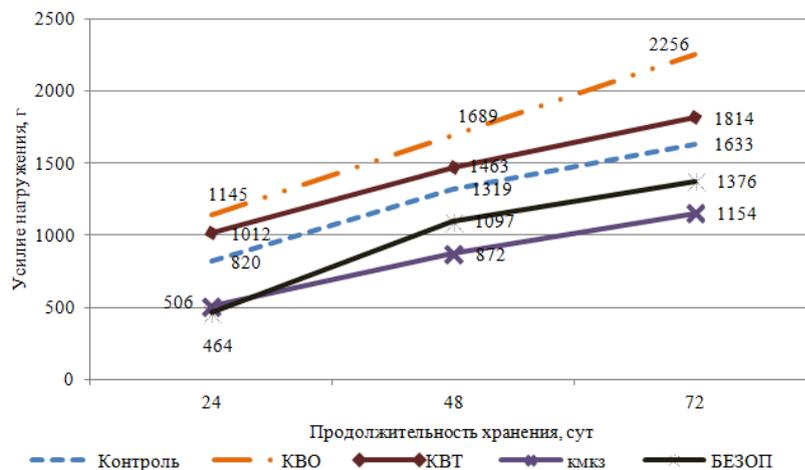


Рисунок 4.10 – Влияние технологии производства на динамику усилий нагружения на «Структурометре СТ-2»

Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

Согласно данным, представленным на рисунке 4.10 видно, что значения усилия нагружения при деформации мякиша через 24 часа после выпечки самые низкие в образце, полученном по безопасной технологии с использованием комплексной закваски молочнокислых бактерий КМКЗ (1154 г) и по безопасной технологии (1376 г) по сравнению с контрольным образцом (1633 г) и образцами хлеба, приготовленным по опарной технологии с внесением муки киноа в опару (КВО) - 2256 г и при внесении муки киноа в тесто (КВТ) – 1814.

Полученные данные свидетельствуют о более длительном сохранении свежести мякиша хлеба, обогащенного мукой киноа, полученного по безопасной технологии с использованием закваски кисломолочных бактерий. Для оценки динамики изменения усилий нагружения при деформации мякиша хлеба при хранении определили значения показателя ΔF , характеризующего прирост усилия нагружения за 1 сутки (таблица 4.12).

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.

Таблица 4.12 – Динамика изменения усилий нагружения при деформации мякиша хлеба при хранении

Показатель	ΔF (через 48 часов), г	ΔF (через 72 часа), г
Контроль	499±0,080	314±0,030
КВО	544±0,015	567±0,080
БЕЗОП	591±0,030	289±0,040
КМКЗ	408±0,012	282±0,015
КВТ	451±0,080	351±0,040

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

При выработке хлеба опарным способом с внесением муки киноа в тесто (КВТ) установлено увеличение усилия нагружения при деформации мякиша на 23 % и 25 % по сравнению с деформацией мякиша хлеба, приготовленного с использованием КМКЗ. Безопарный способ приготовления хлеба с добавлением муки киноа способствовал укреплению мякиша хлеба через 48 часов после выпечки и составлял – 591 г, при этом через 72 часа после выпечки прирост усилия нагружения был на уровне КМКЗ и составил – 289 г. Самые хорошие показатели реологических показателей при хранении хлеба в течение 72 час. Были установлены в хлебе, приготовленном безопарным способом с использованием КМКЗ.

На следующем этапе исследований определяли скорость черствения мякиша хлеба через 72 часа после выпечки. Показатель скорости черствения мякиша (СЧ) рассчитывали по формуле [108]:

$$СЧ = \Delta F / \Delta \tau, \quad (4.5)$$

где ΔF (через 48 часов) = $F_{ср}$ (через 48 часов) – $F_{ср}$ (через 24 часа)

Сравнительные данные, характеризующие скорость черствения мякиша представлены на рисунке 4.11.

Согласно данным, представленным на рисунке 4.11, мякиш хлеба, обогащенного мукой киноа, приготовленный безопарным способом на КМКЗ и опарным способом, при внесении муки киноа в тесто (КВТ) характеризовался 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).

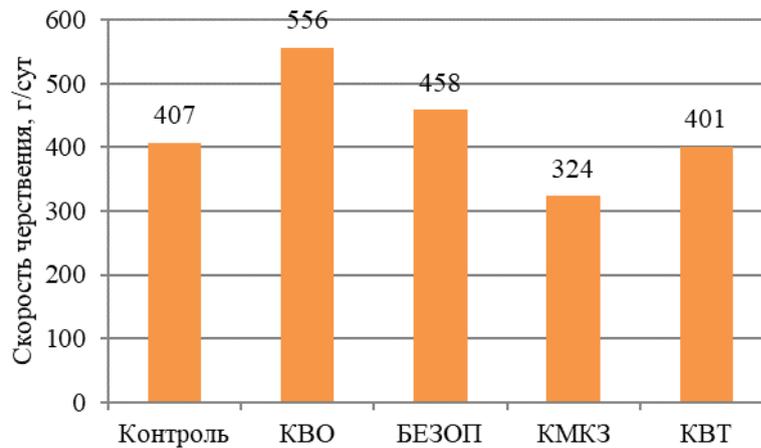


Рисунок 4.11 – Влияние технологии производства пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа на скорость черствения мякиша (через 72 часа после выпечки)

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Аналогичное влияние муки семян льна на реологические показатели хлеба на смеси пшеничной муки и муки семян льна было отмечено в работе Коневой С.И. с соавторами. Авторы предполагают, изменение значений пористости и удельного объема хлеба, полученного на смеси льняной и пшеничной муки, может происходить за счет окислительных процессов, протекающих в липидах льняной муки. Гидропероксиды полиненасыщенных жирных кислот окисляют сульфгидрильные группы белков с образованием новых дисульфидных связей, влияющих на прочностные характеристики клейковидного каркаса [84, с. 398-401]. Учитывая, высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот в муке киноа, вероятно, аналогичное положительное влияние на прочностные характеристики клейковидного каркаса могут происходить в тесте, содержащем киноа.

Таким образом, можно заключить, что оптимальным способом приготовления хлеба с добавлением муки киноа является применение безопасной технологии с использованием комплексной кисломолочной закваски, позволяющий повысить органолептические, физико-химические и реологические показатели качества пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа и замедлить процесс черствения мякиша хлеба по сравнению с контролем и другими изученными технологиями производства.

4.4 Изучение влияния муки киноа на микробиологическую устойчивость обогащенного пшеничного хлеба в процессе хранения

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

Важной задачей при разработке технологии производства хлеба является обеспечение микробиологической стабильности и повышение устойчивости хлеба к микробиологическим повреждениям. Особое внимание уделяется предотвращению рисков развития картофельной болезни хлеба. Наиболее значимым фактором, влияющим на повышение контаминации хлеба, является обсемененность основного сырья и новых нетрадиционных сырьевых ингредиентов, используемых в рецептуре хлеба. Увеличение микробиологической нагрузки хлеба повышает риск развития картофельной болезни хлеба, которая вызывается спорообразующими бактериями рода *Bacillus*, которые синтезируют активный комплекс протеолитических и амилолитических ферментов, ухудшающих качество теста и готовых изделий, в зараженном хлебе появляется неприятный запах, дефекты вкуса и внешнего вида.

В настоящее время установлено, что помимо картофельной палочки *Bacillus subtilis* (*B. mesentericus*) порчу хлеба могут вызывать и другие виды рода *Bacillus*, например, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. cereus*, *B. firmus*, *B. clausii*, *B. megatherium*, *B. polymyxa* и др. Инструкция НИИХП по предупреждению картофельной болезни хлеба рекомендует в случае возникновения рисков заражения хлеба хлебной болезнью осуществлять повышение кислотности теста, в т.ч. за счет использования КМКЗ при опарном и безопарном способе тестообразования [75]. В работах Машкина Д.В. [112] с соавторами, была подтверждена высокая эффективность предупреждения микробиологической порчи хлеба, в т.ч. плесневения и развития картофельной болезни при использовании молочнокислых заквасок различного видового состава.

Влияние муки киноа на микробиологическую устойчивость пшеничного хлеба в процессе хранения исследовали по стандартным методикам и по методике, разработанной НИИХП. В таблице 4.13 представлены данные, характеризующие уровень микробиологической контаминации мякиша хлеба, произведенного по изучаемым технологиям.

Внесение в рецептуру пшеничного хлеба муки киноа увеличивает контаминацию хлеба микроорганизмами. При использовании опарного способа, при котором происходит более длительное брожение, обсемененность мякиша выше, чем при безопарном способе производства.

Таблица 4.13 – Влияние технологии производства на микробиологические показатели хлеба, обогащенного мукой киноа, через 24 часа после выпечки

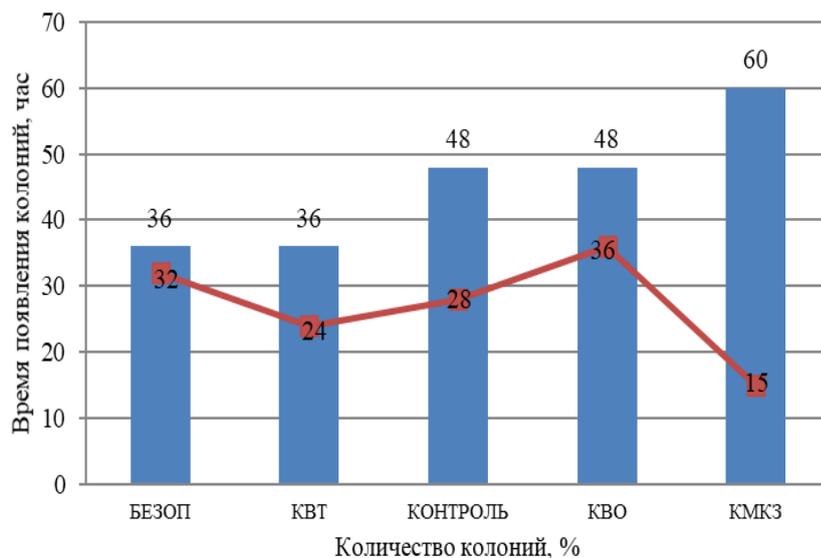
Микробиологический показатель, КОЕ/г	Хлеб с добавлением муки киноа, полученный различными технологиями приготовления				
	контроль	БЕЗОП	на КМКЗ	КВО	КВТ
КМАФАнМ	50	52	25	60	55
Дрожжи	Менее 10	Менее 10	Менее 10	Менее 10	Менее 10
Плесени	38	40	20	48	45
Спорообразующие бактерии рода <i>Bacillus</i>	35	40	20	60	40

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Использование КМКЗ при безопасной технологии приводит к снижению всех видов исследованных групп микроорганизмов, в т.ч. спорообразующих бактерий рода *Bacillus*, вызывающих развитие хлебной болезни. Для определения вероятности заражения исследуемых образцов хлеба хлебной болезнью при хранении, проводились исследования хлебобулочных изделий в соответствии с Инструкцией ФГАНУ НИИХП [75].

Была произведена лабораторная выпечка изделий, изготовленных по исследуемым технологиям. Остывшие образцы хлеба закладывали в термостат в провокационные условия (повышенная влажность и температура 38 ± 1 °C). Рекомендовано использовать два метода определения зараженности хлеба картофельной болезнью – визуальный и люминесцентный. В процессе выдерживания исследуемых образцов в провокационных условиях на разрезе образцов хлеба фиксировали наличие светящихся в УФ-свете колоний с помощью прибора «Люминоскоп».

Первые признаки поражения мякиша хлеба спорами бактерий, вызывающих хлебную болезнь, выявлены через 36 часов в хлебе, обогащенном киноа, полученном безопасным способом (32 КОЕ) и опарным способом с внесением муки киноа в тесто (24 КОЕ). Через 48 часов хранения исследуемых образцов были установлены признаки заражения мякиша хлебной болезнью в образцах, полученных опарным способом (КВО) с внесением муки киноа в опару (36 КОЕ). Контроль, без внесения в рецептуру муки киноа, был более устойчив к поражению хлебной болезнью, чем варианты хлеба, обогащенные мукой киноа при использовании опарного и безопасного способа производства (48 час). Наиболее устойчивыми к заражению были образцы пробной выпечки, полученные безопасным способом с внесением концентрата закваски молочнокислых бактерий (КМКЗ), в котором через 60 часов хранения было выявлено 15 КОЕ бактерий, вызывающих заболевание.



БЕЗОП – безопарный; КМКЗ – на концентрированной молочнокислой закваске; КВО – опарный, с внесением муки киноа в опару; КВТ – опарный, с внесением муки киноа в тесто

Рисунок 4.12 – Время появления признаков поражения картофельной болезнью (количество светящихся в УФ-свете колоний) обогащенного хлеба, полученного по исследуемым способам производства

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Параллельно, в образцах при хранении в термостате через 24, 48 и 72 часа определяли признаки поражения мякиша хлебной болезнью визуально (рисунок 4.13).

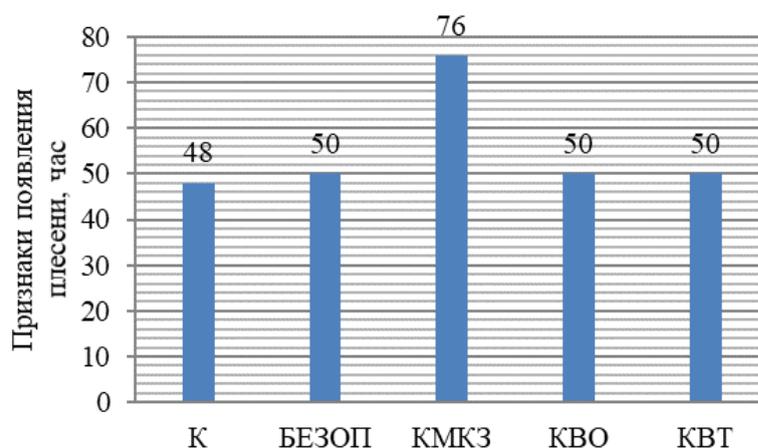


Рисунок 4.13 – Время появления признаков поражения хлебной болезнью при визуальном наблюдении

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Визуальные проявления поражения хлеба картофельной болезнью в виде ослизнения, появления липкости мякиша, темных пятен и специфического запаха, указанные в Методике [40], характеризуют наличие органолептических признаков картофельной болезни. Первые визуальные проявления поражения хлеба были установлены в образцах, полученных опарным способом (КВО) и опарным, с внесением муки киноа в тесто (КВТ) через 48 часов. В контроле и варианте при безопарном производстве (БЕЗОП) – признаки развития хлебной болезни проявились через 50 часов, в варианте при использовании КМКЗ – через 76 часов термостатирования.

На основании результатов органолептических исследований и подсчета колоний микроорганизмов, образовавшихся из проросших спор бактерий рода *Bacillus*, способных флюорисцировать под действием ультрафиолетового излучения, было установлено, что образец хлеба, полученный безопарным 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.

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

Показатель «активность воды» является важным критерием, характеризующим потенциальную микробиологическую устойчивость при хранении хлебобулочных изделий. Для предупреждения развития микроорганизмов и возникновения хлебной болезни при оптимизации технологии и рецептуры хлебобулочных изделий контролируют значение показателя «активность воды». Активность воды (A_w) является важным технологическим критерием процесса производства хлеба, позволяющим контролировать устойчивость продукта при хранении и оценивать риски и возможную скорость развития микроорганизмов, которая существенно зависит от степени ассоциации воды с другими ингредиентами, входящими в рецептуру хлеба [41].

Существуют научно-обоснованные пороговые значения активности воды для разных видов микроорганизмов. Показатель A_w является нормируемым во многих странах, в т.ч. в Беларуси и в Украине A_w используется для установления сроков годности (хранения), условий хранения продовольственного сырья и пищевых продуктов. Постепенно этот показатель начинает нормироваться для пищевых продуктов в России. Рекомендуемая активность воды для хлеба не должна превышать значение 0,95. Для снижения активности воды используются сырьевые ин-

гредииенты и технологии производства, способные связывать свободную влагу в продукте и снижать значение A_w .

На рисунке 4.14 представлены данные, характеризующие влияние технологии производства хлеба, обогащенного мукой киноа, на активность воды.

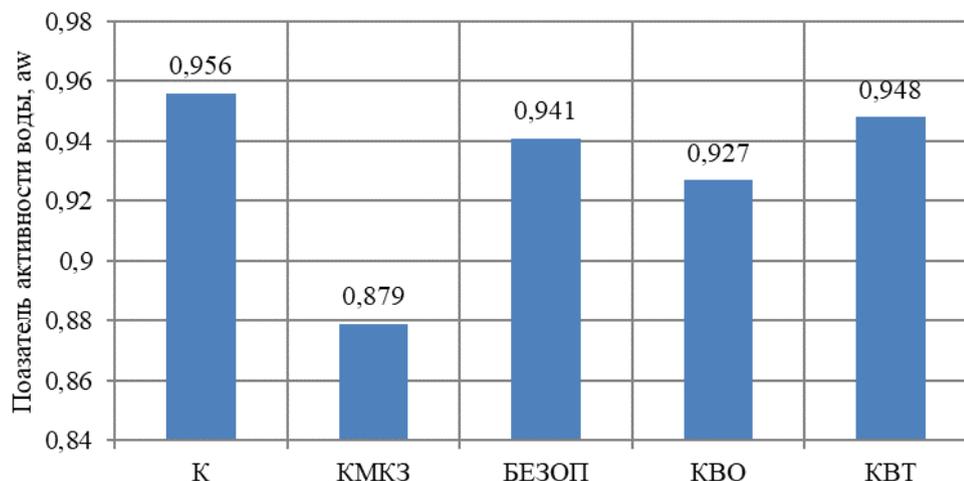


Рисунок 4.14 – Влияние муки киноа на значение показателя «активность воды» хлеба, полученного по разным технологиям (через 24 часа после выпечки)

Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

Введение в рецептуру хлеба муки киноа приводит к снижению активности воды во всех вариантах по сравнению с контролем, изготовленным безопасным способом, для которого A_w равна 0,956. Вероятно, повышение содержание белка и пищевых волокон в обогащенном хлебе увеличивает энергию связи воды с материалом и снижает активность микробиологических, химических и биохимических процессов.

Самое низкое значение A_w было определено в образцах хлеба, обогащенного мукой киноа приготовленного по безопасной технологии с использование КМКЗ A_w равна 0,879. При использовании комплексной молочнокислой закваски повышается кислотность теста, молочная кислота активизирует рост и размножение дрожжей, активизируется процесс созревания теста. Состав и количество кислот в тесте влияют на состояние белковых веществ, активность ферментов, жизнедеятельность бродильной микрофлоры, вкус и аромат хлеба.

Вероятно, дополнительное использование в процессе производства теста молочнокислых заквасок повышает способность белков к набуханию, повышается их водопоглотительная способность. При этом увеличивается количество связанной в коллоидах воды и снижается ее доступность для развития микроорганизмов. Поэтому снижение значения A_w до 0,879 обуславли-

вает снижение роста и размножения микроорганизмов. Влияние кисломолочного брожения на A_w было отмечено в работах С.С. Ветохина с соавторами. Авторы объясняют наблюдаемый эффект тем, что в результате гетероферментативного спиртового и молочнокислого брожения образуется большое количество продуктов метаболизма комплекса микроорганизмов в результате которого образуются вещества с высокой водосвязывающей способностью и происходит изменение соотношения свободной и связанной воды в продукте [36, с. 25-28].

4.5 Биотестирование интегральной пищевой ценности и токсичности пищевых веществ хлеба из пшеничной муки, обогащенного мукой киноа

Целью работы являлось исследование физиологической доступности и интегральной токсичности пищевых веществ хлеба из пшеничной муки с добавлением муки киноа методом биотестирования с использованием реснитчатых инфузорий *Tetrahymena*. Реснитчатые инфузории *Tetrahymena pyriformis* являются одноклеточными эукариотическими организмами, в своем строении имеют ядро, что является основным отличием от безъядерных бактерий. К особенностям инфузорий относят быструю адаптацию к разнообразным условиям, что позволяет им также быстро перестроить жизненные функции, изменить скорость движения, форму и размер клеток, и способность усваивать пищу. Метаболизм усвоения пищевых веществ инфузорий схож с высшими животными [215, с. 36-37; 69, с. 42-45; 60, с. 465-473].

Объектами исследования являлись опытные образцы хлеба из пшеничной муки первого сорта с добавлением муки киноа в количестве до 20 % от массы пшеничной муки и сухой пшеничной клейковины в количестве 2 % (к массе муки пшеничной), приготовленные по технологиям: - безопарной (БЕЗОП); - безопарной с добавлением 10% концентрированной молочнокислой закваски (КМКЗ); опарной, при которой мука киноа, добавлялась в опару (КВО); опарной, при которой мука киноа, добавлялась в тесто (КВТ); также безопарным способом выпекали контрольный образец, без добавок (КОНТРОЛЬ).

Метод биотестирования с использованием культуры *Tetrahymena pyriformis* проводили в лаборатории биологических методов РЭУ им. Г.В. Плеханова в соответствии с модифицированной методикой по ГОСТ 31674-2012 "Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения общей токсичности", а также [73, с. 70-71; 236, с. 703-707; 19]. Анализировали поведенческие характеристики и проводили подсчет живых и мертвых инфузорий через фиксированные периоды времени контактирования с исследуемыми объектами. Количество клеток простейших подсчитывали в большом квадрате камеры Фукса-Розенталя.

Для определения морфологических изменений клеток, культуру тщательно перемешивали до получения однородной взвеси и пипеткой отбирали в отдельную емкость 1 см³ культуры, куда добавляли 1 каплю раствора йода для гибели инфузорий. Содержимое тщательно перемешивали и вносили каплю в счетную камеру. Для определения физиологической активности культуральную жидкость тщательно перемешивали и помещали в камеру Фукса-Розенталя. Микроскопировали при 100-кратном увеличении и производили подсчет клеток инфузорий в 16 квадратах. В результатах исследований указаны рассчитанные средние значения по 10 полям зрения.

Проведение наблюдений и подсчет инфузорий проводили до начала инкубации и через 24 и 48 часов эксперимента. Наиболее значимые результаты с максимальным различием в поведенческих и количественных характеристиках получены после 48 часов культивирования. Контролем служила среда с добавлением хлеба из пшеничной муки без добавок. Результаты представлены в таблице 4.14. Исходное содержание инфузорий в питательной среде до начала эксперимента составляло 10 особей.

Таблица 4.14 – 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
КМКЗ	66,31	0	5
БЕЗОП	11,03	0	3
КВТ	52,0	0	4
КВО	12,88	0	4

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Как видно из результатов, представленных в таблице 4.14, максимальное количество живых клеток инфузорий было установлено в питательной среде с хлебом, обогащенным киноа, произведенном безопасным способом с использованием КМКЗ. В этом варианте была выражена наиболее высокая физиологическая активность инфузорий. В остальных вариантах также отмечался рост количества клеток, при этом наиболее активное размножение было во всех вариантах с добавлением хлеба, обогащенного киноа.

Аналогическая зависимость отмечалась при установлении физиологической активности особей. При этом ни в одном из исследуемых вариантов не наблюдалась гибель клеток. Следовательно, обогащение хлеба пшеничного мукой киноа не оказывает токсичного воздействия на развитие тест-объектов и стимулирует их жизнедеятельность и размножение. Наиболее высокая положительная реакция тест-объекта *Tetrahymena pyriformis* отмечена для хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа, произведенного безопасным способом с использованием комплексных молочнокислых заквасок.

Выводы по четвертой главе. В разделе 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, полученных с применением опарного способа приготовления теста; безопасного и с использованием комплексной технологии, совмещающей безопасный способ приготовления теста с добавленным эффектом молочнокислого брожения за счет использования концентрата закваски чистых культур молочнокислых бактерий КМКЗ. Безопасный способ является менее трудоемким, чем опарный, существенно сокращается время брожения теста, но при обогащении хлеба мукой киноа, происходит снижение удельного объема хлеба. Снижение физико-химических показателей качества пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа при опарном и безопасном способе производства обусловило необходимость модификации процесса тестоприготовления. В работах Белявской И.Г. [22, с. 19-24] была доказана эффективность использования способа внесения муки киноа в виде заварки при опарном способе тестоприготовления. Для использования преимуществ безопасного способа производства хлеба по сравнению с опарным, нами было проведено изучение влияния внесения концентрата КМКЗ в рецептуру на показатели качества готовых изделий при безопасном способе производства. Применение безопасного способа производства пшеничного хлеба с использованием в качестве закваски традиционных препаратов жидких дрожжей в комплексе с КМКЗ, позволяет сократить продолжительность брожения теста по сравнению с опарным и безопасным способом и повысить потребительские свойства хлеба, обогащенного функциональными ингредиентами киноа.

Результаты сравнительных исследований, подтвердили перспективность использования комплексного способа тестоприготовления при производстве пшеничного хлеба, обогащенного мукой киноа. Хлеб, обогащенный мукой киноа, полученный безопасным способом с использованием КМКЗ, не уступал по органолептическим показателям хлебу, приготовленному опарным способом, а показатели запаха и вкуса были более выражены и получили высокую оценку.

Внесение в рецептуру пшеничного хлеба муки киноа и использование КМКЗ при безопасном способе производства оказали влияние на структурно-механические показатели сформировавшегося при выпечке мякиша хлеба.

Лучшими показателями при определении скорости черствения отличались образцы хлеба, полученного безопасным способом с использованием КМКЗ, значения усилия нагружения при деформации мякиша через 24 часа после выпечки были на 20 % ниже, чем при использовании безопасного способа без использования КМКЗ и на 50 % ниже, чем при опарном способе производства. Следовательно, мякиш хлеба, обогащенного мукой киноа, полученный по безопасной технологии с использованием закваски кисломолочных бактерий, обладает самым высоким показателем, характеризующим мягкость, по сравнению с другими исследованными вариантами. Возможно, в процессе приготовления теста на КМКЗ происходит процесс накопления водорастворимых веществ муки киноа и продуктов брожения кисломолочных бактерий, что приводит к увеличению скорости размножения дрожжей и более активному разрыхлению мякиша при выпечке хлеба.

Установлено, что при внесении в рецептуру хлеба муки киноа при безопасном способе производства с КМКЗ и при опарном способе снижается скорость черствения мякиша при хранении на 20 % и 2 % соответственно. Следовательно, в процессе смешанного спиртового и кисломолочного брожения в присутствии смеси пшеничной муки и муки киноа, образуются влагосвязывающие гидролизаты, повышающие структурообразование белковых веществ киноа и структуры белковых молекул клейковинного каркаса на стадиях тестообразования хлебобулочных изделий. Применение КМКЗ при замесе теста может способствовать образованию более компактных пор, за счет прочного обволакивания клейковинными пленками крахмальных гранул, что приводит к формированию плотного клейковинного каркаса, сдерживающего скорость черствения в данном образце.

Учитывая, высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот в муке киноа, вероятно, изменение реологических показателей может также происходить за счет окислительных процессов, протекающих в липидах муки киноа. Гидропероксиды полиненасыщенных жирных кислот окисляют сульфгидрильные группы белков с образованием новых дисульфидных связей, влияющих на прочностные характеристики клейковидного каркаса.

По комплексу значений реологических показателей можно заключить, что оптимальным способом приготовления хлеба с добавлением муки киноа является применение безопасной технологии с использованием концентрированной молочнокислой закваски.

Важной проблемой в технологии хлеба является повышение микробиологической стабильности. Уровень микробной контаминации сырьевых компонентов оказывает большое влия-

яние на характер микробиологического поражения хлеба при охлаждении и дальнейшем хранении.

Установлено, что внесение в рецептуру пшеничного хлеба муки киноа увеличивает контаминацию хлеба микроорганизмами при безопасном способе на 4 %, при опарном способе – на 10 % - 20 %, использование КМКЗ при безопасном способе производства приводило к снижению общей обсемененности хлеба (КМАФАнМ) почти на 50 %. Аналогичная зависимость установлена в отношении количества плесеней – соответственно, увеличение составило 33 % и 18 %, внесение КМКЗ при безопасном способе снижало обсемененность на 40 %. Увеличение микробиологической нагрузки хлеба повышает риск развития картофельной болезни хлеба.

В опытных образцах хлеба, приготовленных из смеси пшеничной муки и муки киноа, контаминация спорообразующими бактериями рода *Bacillus* хлеба, полученного безопасным и опарным способом увеличивалась по сравнению с образцом из пшеничной муки (контролем) более чем на 14 %, в то время как в опытном образце, обогащенном мукой киноа, полученном безопасным способом с использованием КМКЗ количество спорообразующих бактерии рода *Bacillus* снизилось на 57 %. Результаты исследований показали, что использование концентрированной закваски молочнокислых бактерий при безопасной технологии приводит к снижению всех видов исследованных групп микроорганизмов, в т.ч. спорообразующих рода *Bacillus*. Кисломолочные микроорганизмы являются антагонистами многим видам патогенных микроорганизмов и дополнительно в процессе брожения происходит повышение кислотности теста, такое комплексное влияние приводит к снижению рисков развития микробиологических заболеваний.

В результате люминесцентного и органолептического метода анализа картофельной болезни в исследуемых образцах хлеба, полученных при разных способах производства, было установлено, что использование комплексного спиртового и молочнокислого брожения при производстве теста безопасным способом позволяет предупредить риски заболевания хлебной болезнью, возникающие в результате использования нетрадиционного сырья – муки киноа.

Вторым важным фактором, влияющим на активность протекающих микробиологических и химических процессов в пищевых продуктах, является снижение активности воды (A_w) в пищевых системах. Показатель активности воды коррелирует с микробиологической стабильностью хлебобулочных изделий. При изучении влияния технологии производства на A_w хлеба было показано, что использование муки киноа и КМКЗ приводило к снижению A_w . Введение нетрадиционного сырья киноа, богатого белком и углеводами приводило к снижению A_w с 0,956 до 0,941 при безопасном способе и до 0,948 при опарном способе тестообразования. Использование концентрированной закваски чистых молочнокислых культур приводило к дополнительному снижению A_w до 0,879. Следовательно, использование комплексного спиртового и молочнокислого брожения позволяет существенно снизить A_w . По комплексу органолептиче-

ских, физико-химических, реологических и микробиологических показателей самым высоким уровнем качества отличались образцы хлеба, обогащенного 17 % муки киноа и 2 % сухой пшеничной клейковины, полученные при использовании безопасной технологии хлеба с использованием концентрата закваски чистых культур молочнокислых бактерий (НИИХП), на втором месте при ранжировании уровня качества находились образцы хлеба, полученные опарным способом.

Проведено биотестирование хлеба из пшеничной муки с добавлением муки киноа на инфузориях *Tetrahymena pyriformis* и установлено, что обогащение хлеба пшеничного мукой киноа не оказывает токсичного воздействия на развитие тест-объектов и стимулирует их жизнедеятельность и размножение. Наиболее высокая положительная реакция тест-объекта *Tetrahymena pyriformis* отмечена для хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа, произведенного безопасным способом с использованием комплексных молочнокислых заквасок.

Глава 5 Формирование портрета безглютеновых хлебцев с заданным химическим составом

Всемирная организация здравоохранения констатирует, что в условиях экологического кризиса происходит нарушение сбалансированной структуры питания более чем у трети населения планеты, что обусловило широкое распространение алиментарных заболеваний и необходимость консолидации международного сообщества для обеспечения здорового питания.

Объем потребления функциональных и обогащенных хлебобулочных изделий ежегодно увеличивается и спрос на эту продукцию растет быстрее, чем объемы ее производства. Неудовлетворенный спрос на этот сегмент рынка хлебопродуктов отмечается и в России. Объем производства функциональных хлебопродуктов составляет около 3 % от общего объема хлебопродуктов, в то время как на Международном конгрессе «Лечебно-профилактическое и функциональное хлебопечение «Хлеб – это здоровье», было принято постановление о необходимости увеличения объема производства до 20 % [143, с. 67]. При производстве функциональных хлебобулочных изделий необходимо было учитывать, что более 15 млн человек в России и от 1 % до 3 % населения в мире не переносят основной белок злаковых культур – глютен, он вызывает алиментарное заболевание – целиакию [21, с. 17–21; 94, с. 121–123]. В этой связи рынок безглютеновых продуктов постоянно увеличивается, он составляет около 6 млрд долларов, и ежегодное увеличение составляет в среднем на 7 %. Аналогичная картина наблюдается на Европейском рынке безглютеновой продукции, который превысил 1 млрд евро [2, с. 16–17; 160, с. 8–10].

Отечественный рынок безглютеновой продукции составляет 0,9 % - 1,1 % по отношению к мировому и является импортозависимым, но имеет выраженную тенденцию ежегодного увеличения объемов и ассортимента российских безглютеновых продуктов [85, с. 60-63]. Основным направлением профилактики заболеваний, обусловленных непереносимостью глютена, является исключение из рациона продуктов, содержащих глютен. По данным Комиссии Кодекс Алиментариус, продукты считаются безглютеновыми, если содержание глютена не превышает 20 ppm. На международном рынке 56 % - 58 % безглютеновых продуктов представлено хлебом и хлебобулочными изделиями.

Большим спросом пользуются безглютеновые продукты для быстрого перекуса – снеки, объем продаж, которых в 2020 г. увеличился на 75 % - 80 %, и большую долю в объеме данных продаж занимают хлебцы хрустящие. В России объем производства и продаж хлебцев хрустящих за последний год увеличился на 5 % - 6 % [80]. Повышение интереса к хлебцам маркетологи объясняют повышением интереса к здоровому питанию и модификацией вкусовых восприя-

тий молодежи, с развитием желания быстрого перекуса, который получил название «снекинг» [27].

Важным преимуществом хлебцев хрустящих является низкая энергетическая ценность – 13-15 ккал одного слайса, что почти в 4 раза ниже, чем у хлеба той же массы, энергетическая ценность которого достигает до 70 ккал. Поэтому в настоящее время постоянно расширяется их ассортимент за счет проектирования функциональных свойств при использовании сырьевых функциональных рецептурных компонентов: широкой линейки зерновых культур, семян масличных культур, разных видов орехов, плодово-ягодных и овощных культур и источников животного происхождения.

В этой связи в данной 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.

5.1 Обоснование выбора рецептурных компонентов безглютеновых хлебцев

Хлебцы хрустящие отличаются высоким содержанием пищевых волокон, минеральных веществ, а обогащенные хлебцы характеризуются повышенным содержанием биологически активных соединений. В зависимости от вида используемого сырья большим спросом пользуются хлебцы из цельнозерновых и пророщенных зерновых культур, хрустящие пшеничные, ржаные, рисовые, кукурузные, гречневые, диетические льняные, а также хлебцы из разнообразных смесей зерновых. В качестве обогащающих компонентов часто используют пророщенные зерна, семена кунжута, подсолнечника, льна, плодовоовощные добавки, морепродукты и другие компоненты, которые обладают разной функциональной направленностью действия. В таблице 5.1 представлен анализ пищевой ценности наиболее распространенного ассортимента хлебцев хрустящих, пользующихся повышенным спросом потребителей.

Как видно из представленных данных пищевая ценность разных видов хлебцев характеризуется невысоким содержанием белка. В зависимости от вида основного сырья содержание белка находится в диапазоне от 6 до 13 г/100 г. Учитывая, что белки зерновых культур относятся к неполноценным, дефицитным по содержанию незаменимых аминокислот, тенденция обогащения и производства поликомпонентных хлебцев является перспективным направлением производства снеков. Использование разных видов сырьевых компонентов в рецептуре хлебцев

позволяет проектировать химический состав и пищевую ценность для обеспечения индивидуальной профилактической направленности снековой продукции.

Таблица 5.1 – Сравнительная пищевая и энергетическая ценность основных видов хлебцев, реализуемых в торговой сети

Основной вид сырья (мука)	Пищевая ценность, г/100г			Энергетическая ценность, ккал
	белки	жиры	углеводы	
Пшеница	10,0-11,0	2,1	55,0	285,0
Цельнозерновая пшеничная	11,0	1,9	69,0	360,0
Пророщенная пшеница	12,6	6,5	75,2	406,0
Ржаная	7,9-8,9	1,3	73,0	338,0
Кукурузная	9,1	1,5	70,0	350,0
Гречневая	12,0	3,0	52,0	280,0
Рисовая	5,6	1,0	69,0	280,0
Полба	11,5	1,9	74,1	359,0
Ржано-пшеничная	10,0	2,2	58,0	281,0
Ржаная и рисовая	9,6	1,5	68,0	300,0
Гречневая и ржаная	11,0	1,5	72,0	350,0
Кукурузная и рисовая	8,0	3,0	59,0	300,0
Пшеничная, гречневая, ржаная, кукурузная, овсяная, рисовая, перловая	10,0	2,0	57,0	290,0
Амарант и гречневая	9,0	2,0	70,0	336,0
Амарант и топинамбур (безглютеновые)	8,0	1,5	67,5	316,0
Киноа	14,0-20,0	6,0	61,0	355,0
Чечевичная	26,0	1,2	53,0	310,0
Примечание – составлено по данным производителей				

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Учитывая возрастающие распространение заболеваний целиакией, для которой основным способом лечения и профилактики заболевания является использование безглютеновой диеты, для производства безглютеновых хлебцев перспективным является сырье, не содержащее глютена, но с высоким уровнем полноценного белка, пищевых волокон и сбалансированного комплекса биологически активных веществ. В ходе предварительных исследований литера-

турных данных по химическому составу преобладающего ассортимента реализуемых хлебцев хрустящих из разных видов муки, было установлено, что этим требованиям в полной мере отвечает комбинирование дополняющих друг друга сырьевых источников - киноа и чечевицы (таблица 5.1).

Киноа обладает уникальной пищевой ценностью, содержит до 20 % полноценного белка, который богат лизином, который является первой лимитирующей аминокислотой для пшеницы. Киноа отличается оптимальным соотношением полиненасыщенных жирных кислот, высоким содержанием эссенциальных микронутриентов, антиоксидантов, пищевых волокон и других биологически активных соединений, что позволило Всемирной организации здравоохранения рекомендовать использовать псевдозерновую культуру киноа при решении проблемы продовольственной безопасности [62, с. 81-86]. Для повышения биологической ценности готовых изделий можно эффективно использовать муку чечевицы. По данным многих авторов [33, с. 39-40; 87, с. 74-77] мука чечевицы может содержать до 30 % белка. Отмечается высокая биологическая ценность белка, состав которого отличается высоким содержанием аминокислот треонина, валина, лейцина, фенилаланина, которые могут комплементарно дополнять аминокислотный состав белка киноа, что позволит приблизить биологическую ценность белка готового продукта к рекомендованному ФАО/ВОЗ.

Чечевица отличается высоким содержанием водо- и жирорастворимых витаминов в т.ч. группы В, РР, Е, А; минеральных веществ, особенно богата калием, железом, кальцием, селеном, кремнием, магнием йодом, марганцем, цинком и др. Кроме того, чечевица отличается тем, что при выращивании не аккумулирует токсичные элементы. В чечевице удельная активность радионуклидов ниже, чем в пшенице озимой – в 4,4 раза, в 3 раза ниже чем в пшенице яровой, в ячмене – 4,2, ржи – в 3,8, в бобовых культурах: в фасоли - 7, в сое – 8, бобах – более, чем в 10 раз, что особенно важно при использовании этого сырья при создании функционального пищевого продукта. Чечевица стимулирует обменные процессы, повышает иммунитет, нормализует деятельность сердечно-сосудистой системы. Наличие в ее составе серотонина предупреждает развитие депрессивных состояний, повышает настроение. Наличие комплекса изофлавоноидов обуславливает антиканцерогенные свойства чечевицы [87, с. 74-77; 70, с. 72-74].

Мука чечевицы и киноа обладают выраженной потенциальной способностью взаимного обогащения при проектировании пищевой ценности и функциональной активности хлебцев для профилактического питания и характеризуются хорошими органолептическими показателями, приятным вкусом и ароматом. Для дополнительного обогащения хлебцев полиненасыщенными жирными кислотами и антиоксидантами и формирования приятного вкуса, хрустящей и рассыпчатой консистенции в состав рецептуры хлебцев были включены семена подсолнечника и льна, а также льняное масло, богатое полиненасыщенными жирными кислотами. Семена льна

отличаются высоким содержанием жира с оптимальным соотношением $\omega_3:\omega_6$ ПНЖК, высоким содержанием белка, жирорастворимых витаминов и других БАВ [90, с. 1626-1631].

Рецептурный состав разрабатывался на основании анализа химического состава основных и вспомогательных ингредиентов в соотношениях, обеспечивающих максимальное приближение к физиологическим нормам потребления. Моделирование рецептуры проводилось на основании результатов анализа химического состава сырьевых ингредиентов с учетом формирования функционально-технологических характеристик теста для производства хлебцев с последующим проведением лабораторных выпечек и проведения их органолептической оценки. При проведении пробных выпечек разных модификаций рецептурного состава и анализа результатов проведенной дегустации образцов, большое внимание уделялось консистенции теста.

В качестве обогащающей добавки использовали семена льна и подсолнечника, в состав рецептуры также входило масло льняное, патока мальтозная, соль пищевая и вода питьевая. При разработке рецептуры большое внимание уделялось обеспечению возможности получения теста со стабильными функционально-технологическими характеристиками, сохраняющимися на всех этапах технологического процесса. Семена подсолнечника проходили термообработку обжариванием с последующим измельчением в муку. Семена льна перед внесением в тесто также предварительно измельчали. На рисунке 5.1 приведена схема приготовления безглютеновых хлебцев (рисунок А.1).

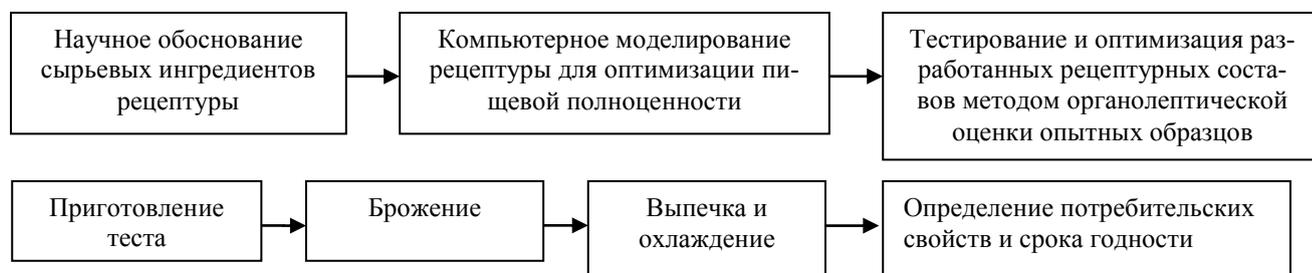


Рисунок 5.1 – Схема разработки и приготовления безглютеновых хлебцев

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

5.2 Математическое моделирование оптимальной рецептуры и качества безглютеновых хлебцев

Для принятия технологических решений по оптимизации рецептуры для производства хрустящих безглютеновых хлебцев с применением муки киноа и чечевицы было проведено

комплексное исследование влияния дозировки основного сырья на органолептические и физико-химические показатели качества хлебцев. В рецептурной смеси оптимизировали содержание массовой доли муки киноа и чечевицы в рецептурной для достижения максимально возможного повышения содержания функциональных ингредиентов. Для формирования привлекательного внешнего вида и высоких характеристик по органолептическим показателям, на уровне не ниже контрольных образцов, в рецептуру вносили патоку мальтозную. Установлено, что при добавлении в тесто сиропа мальтозного качество хлебцев улучшается: выпеченные изделия становятся более румяные, становится более равномерной пористость, хлебцы отличаются выраженным вкусом, ароматом, замедляется их черствение.

Для оптимизации количества рецептурных ингредиентов муки киноа, муки чечевицы, а также сиропа мальтозного в соответствии с методикой, принятой в ФГАНУ НИИХП, было использовано математическое моделирование состава рецептуры (таблицы Б.1, Б.2) с использованием композиционно равномерного планирования эксперимента (программа "MATSTAT"). Для более полного учета факторов, формирующих потребительские свойства новой продукции, дополнительно были использованы результаты анализа пробной выпечки хлебцев с добавлением муки киноа и муки чечевицы в диапазоне от 30 % до 70 % и внесением сиропа мальтозного от 5 % до 23 %. Используя программу "STATISTICA 7.0", была проведена графическая интерпретация результатов исследования [64, с. 67-74].

В соответствии с методом равномерного планирования эксперимента был спланирован эксперимент по определению влияния муки киноа, муки чечевицы и патоки мальтозной на физико-химические показатели и пищевую ценность готовых хрустящих хлебцев (таблица 5.2).

Для производства хлебцев безопасным способом готовили дрожжевое тесто. В дежу вносили все рецептурные ингредиенты: муку киноа и чечевицы, патоку мальтозную, измельченные семена льна и подсолнечника, соль пищевую, дрожжи хлебопекарные прессованные, масло льняное и замешивали в лабораторной тестомесильной машине по принятой технологии. Полученную смесь выпекали в лабораторной электрической печи при температуре 200 °С – 220 °С в виде пластов толщиной 2–5 мм в течение 3–4 минут до получения готового продукта. Сушка хлебцев производилась при температуре около 50 °С в течение 30-40 мин. Высушенные изделия в течение 1-4 ч охлаждали до температуры 20 °С. Для придания готовому изделию привлекательного внешнего вида поверхность пластин для выпекания хлебцев может быть выполнена с нанесением различных рельефных рисунков. В готовых изделиях исследованы следующие показатели: органолептические свойства, влажность и кислотность. На рисунке 5.2 представлена зависимость влажности (а) и кислотности (б) от массового соотношения муки киноа и чечевицы и массовой доли патоки мальтозной (программа "STATISTICA 7.0").

Таблица 5.2 – Матрица эксперимента по определению влияния сырьевых компонентов на физико-химические показатели качества и пищевую ценность хлебцев

Рецептурный ингредиент	Варианты								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мука чечевичная, г	64,00	64,00	36,00	36,00	70,00	30,00	50,00	50,00	50,00
Мука киноа, г	36,00	36,00	64,00	64,00	30,00	70,00	50,00	50,00	50,00
Дрожжи хлебопекарные прессованные, г	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Разрыхлитель, г	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Соль поваренная пищевая, г	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Семена подсолнечника, г	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Семена льна, г	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Патока мальтозная, г	7,64	20,37	7,64	20,37	14,00	14,00	5,00	23,00	14,00
Масло льняное, г	10								
Вода питьевая, г	по расчету								

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

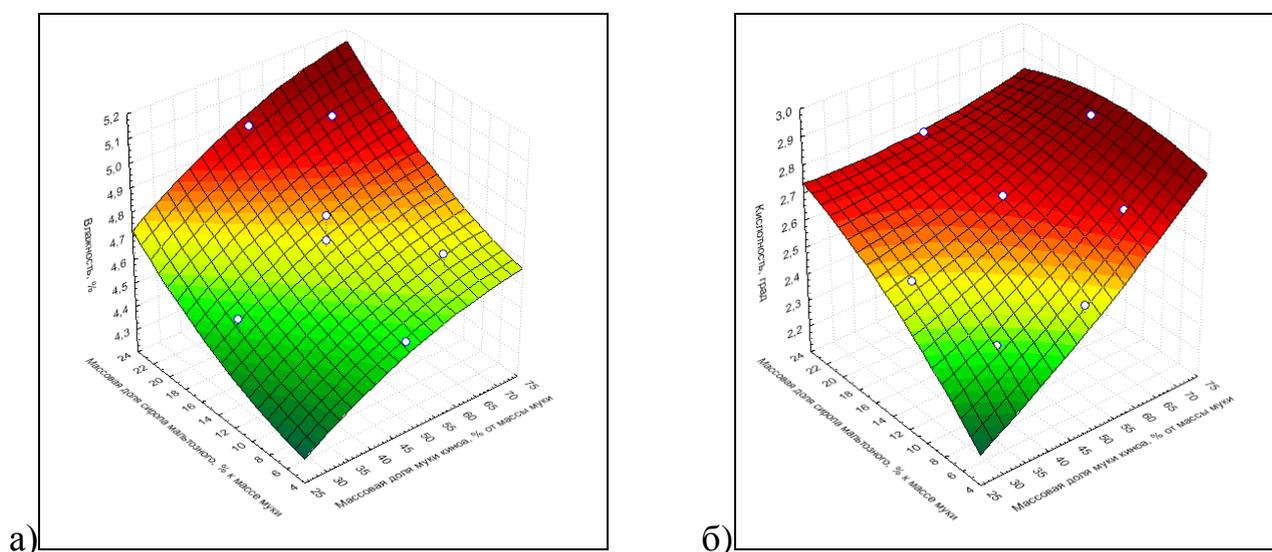


Рисунок 5.2 – Зависимость влажности (а) и кислотности (б) от массового соотношения муки киноа: чечевицы и массовой доли патоки мальтозной (в программе "STATISTICA 7.0")

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Используя программу "STATISTICA 7.0" были получены математические зависимости, характеризующие изменение значения влажности и кислотности хлебцев в зависимости от соотношения муки киноа и чечевицы и патоки мальтозной в составе рецептуры. Ниже представлены регрессионные уравнения, описывающие указанные зависимости.

$$y_1 = 4,08649 + 0,156902 \cdot x_1 + 0,0510283 \cdot x_2 \quad (5.1)$$

$$y_2 = 2,22836 + 0,145688 \cdot x_1 + 0,0277873 \cdot x_2 \quad (5.2)$$

где y_1 - влажность, %;

y_2 - кислотность, град;

x_1 - количество муки киноа, %;

x_2 - количество патоки мальтозной, %.

Для оценки органолептических показателей в соответствии с полученными рекомендациями (рисунок 5.2), были проведены пробные выпечки при содержании в рецептурной смеси следующих соотношений муки киноа и муки чечевицы – 30 %:70 %, 40 %:60 %, 50 %:50 %, 60 %:40 % и 70 %:30 % при внесении 14 % патоки мальтозной.

Установлено, что при увеличении массовой доли муки киноа от 30 % до 50 % происходило улучшение вкусовых характеристик хлебцев, улучшался внешний вид и запах опытных образцов. Увеличение массовой доли муки киноа более 50 % приводило к появлению неприятного темного цвета и горечи во вкусе хлебцев. Оптимальные органолептические показатели качества достигались при соотношении муки киноа и чечевичной муки в соотношении 50 %:50 %, при содержании патоки мальтозной – 14 %. Были проведены исследования полученных опытных образцов безглютеновых хлебцев по показателям: внешний вид, запах, вкус, цвет, форма, вид в изломе, консистенция, поверхность и хрупкость. Хрупкость устанавливали по разлому не менее двух слайсеров хрустящих хлебцев в соответствии с ГОСТ 9846-88 «Хлебцы хрустящие. Технические условия». Было установлено, что оптимальные результаты по органолептическим показателям и значениям влажность и кислотность хлебцев достигались при соотношении основных сырьевых компонентов муки киноа и чечевичной муки в соотношении 50 %:50 % и добавлении патоки мальтозной – 14 %. Рекомендуемая НИИХП методика математического моделирования позволяет на основании экспериментальных данных оперировать созданной моделью для прогнозирования пищевой ценности продукта при корректировке предложенной рецептуры. Применение математической модели на этапе проектирования нового продукта, имеет преимущество по отношению к проведению экспериментальных исследований по каждому исследуемому варианту и позволяет определить предполагаемый химический состав продукта, на основании базы данных химического состава пищевых продуктов и проводить апробацию новой пищевой системы с использованием программного расчетного метода [191].

В результате исследований получены регрессионные уравнения (таблица 5.3) в натуральной размерности, описывающие зависимость отдельных показателей пищевой ценности: массовой доли белка; жира; углеводов; магния; фосфора; селена; цинка; витаминов В₂; В₆; В₉; витамина Е в реализованном масштабе изменения параметров, позволяющих управлять составом основных рецептурных компонентов безглютеновых хлебцев. Графическая интерпретация математических зависимостей (поверхности отклика) приведена на рисунке 5.3.

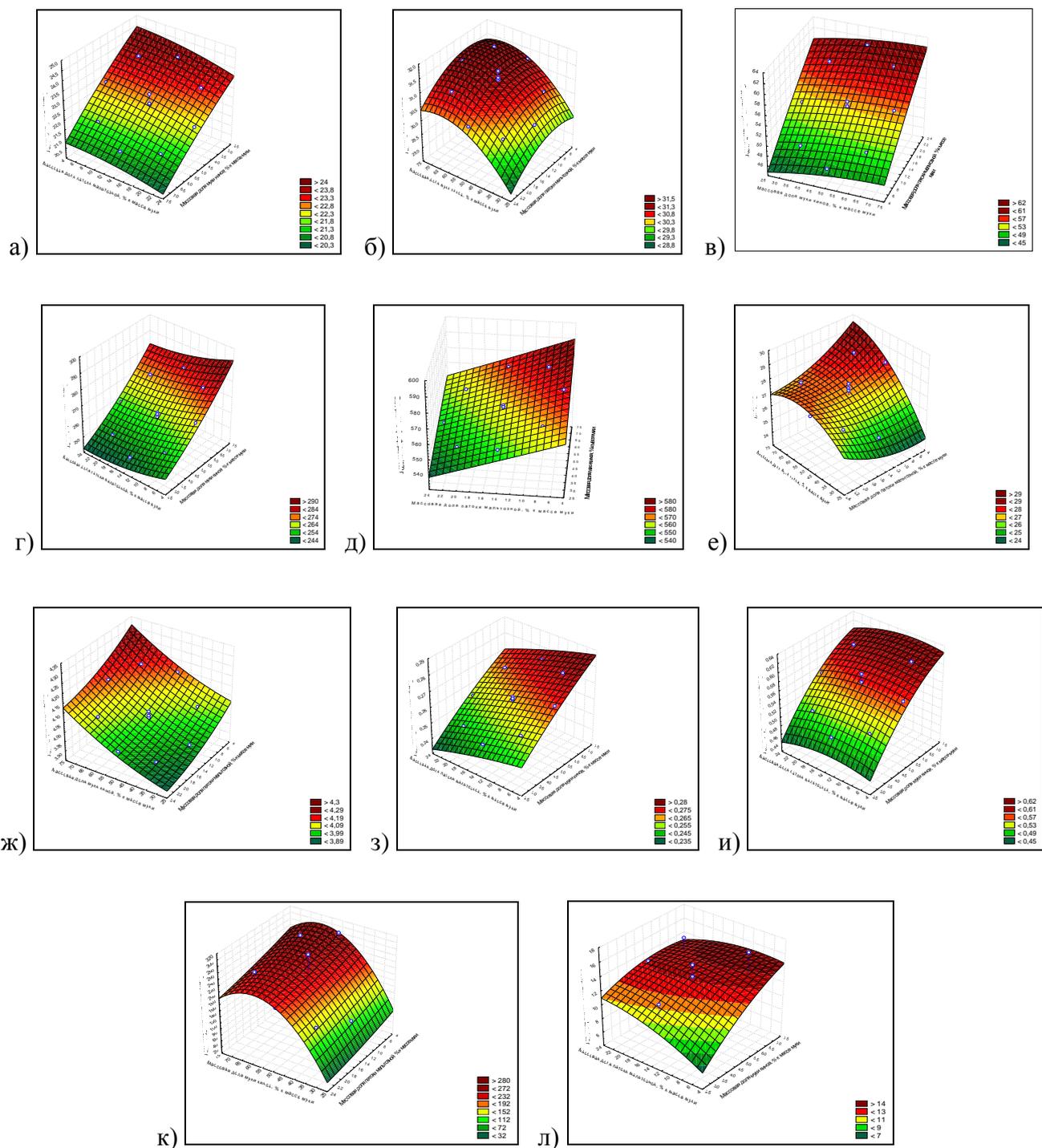
Полученные поверхности отклика позволяют прогнозировать изменения показателей пищевой ценности хлебцев (содержание белка, жиров, углеводов, минеральных веществ и витаминов) при различных дозировках рецептурных компонентов в реализованном диапазоне.

Таблица 5.3 – Зависимость показателей качества безглютеновых хлебцев от соотношения рецептурных компонентов: количества муки киноа (x₁) и патоки мальтозной (x₂)

Показатель	Уравнение регрессии в натуральной размерности
Содержание белка	$Y = 21,6855 + 2,77886 \cdot x_1 - 0,0791498 \cdot x_2$
Содержание жира	$Y = 30,4133 + 0,651305 \cdot x_1 - 0,0441537 \cdot x_2$
Содержание углеводов	$Y = 42,3525 + 1,01131 \cdot x_1 + 1,67247 \cdot x_2$
Содержание магния	$Y = 233,602 + 16,3629 \cdot x_1 - 0,471061 \cdot x_2$
Содержание фосфора	$Y = 560,604 + 9,40958 \cdot x_1 - 1,39487 \cdot x_2$
Содержание селена	$Y = 24,3437 + 1,33817 \cdot x_1$
Содержание цинка	$Y = 3,90508 + 0,0934619 \cdot x_1 - x_2$
Содержание витамина В ₂	$Y = 0,255695 + 0,000943837 \cdot x_1 - 0,000829146 \cdot x_2$
Содержание витамина В ₆	$Y = 0,438791 + 0,0665143 \cdot x_1$
Содержание витамина В ₉	$Y = 111,942 + 63,9061 \cdot x_1$
Содержание витамина Е	$Y = 9,08 + 2,039 \cdot x_1$

Комплексный анализ математических зависимостей (поверхности отклика) пищевой ценности безглютеновых хлебцев в зависимости от соотношения в рецептурной смеси муки киноа: муки чечевицы и мальтозной патоки и рассчитанных значений пищевой ценности, представленные в таблице 5.2 свидетельствуют о том, что:

- самое большое влияние на увеличение содержания белка оказывает доза внесения муки киноа и чечевицы;
- мука киноа в любой дозировке повышает содержание жира и соответственно полиненасыщенных жирных кислот, витаминов группы В, витамина Е и минеральных веществ;



а) белок; б) массовая доля жира; в) массовая доля углеводов; г) магний; д) фосфор; е) селен;
ж) цинк; з) витамин В₂; и) витамин В₆; к) витамин В₉; л) витамин Е

Рисунок 5.3 – Графическая интерпретация математических зависимостей (поверхности отклика) пищевой ценности безглютеновых хлебцев в зависимости от соотношения в рецептурной смеси муки киноа: муки чечевицы и мальтозной патоки

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

– оптимальная доза внесения муки киноа определяется комплексом органолептических и физико-химических показателей и достигается при соотношении муки киноа и чечевичной муки в соотношении 50 %:50 %, при содержании патоки мальтозной – 14 %.

В таблице 5.4 приведена сравнительная характеристика химического состава обогащенных безглютеновых хлебцев, выработанных по оптимизированной рецептуре и контрольного варианта и определен уровень удовлетворения физиологически обусловленной суточной потребности в соответствии с МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации [64, с. 67-74].

Таблица 5.4 – Пищевая ценность безглютеновых хлебцев, произведенных по оптимизированной технологии

Показатель пищевой ценности	Контрольный вариант	Безглютеновые хлебцы (мука киноа: мука чечевицы 50 %:50 %)	Суточная потребность	Степень удовлетворения 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		

Примечание – Средняя суточная потребность в основных пищевых веществах определялась в соответствии с МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Используя международную и национальную базу данных химического состава пищевых продуктов, в соответствии с методикой и компьютерной программой НИИХП было рассчитано

содержание основных функциональных ингредиентов в обогащенном образце хрустящих безглютеновых хлебцев, полученных по оптимизированной рецептуре [163]. За контроль был взят образец, в рецептуре которого мука киноа и чечевичная мука были заменены на пшеничную хлебопекарную муку первого сорта.

Полученные результаты подтверждают, что в безглютеновых хлебцах произошло увеличение всех исследованных функциональных ингредиентов. Содержание всех функциональных ингредиентов (кроме содержания цинка) превосходит их содержание в контрольном варианте на 22 % - 109 %, следовательно, в соответствии с определением «обогащенный продукт» (ГОСТ Р 52349-2005 "Продукты пищевые функциональные. Термины и определения") полученный образец безглютеновых хлебцев может быть отнесен к «обогащенным».

Получение безглютеновых хлебцев позволило увеличить, по отношению к традиционным хлебцам из муки пшеничной первого сорта, содержание белка на 23,3 %, также произошло значимое увеличение содержания пищевых волокон на 28 %, рибофлавина – на 92 %, токоферола почти на 800 %, минеральных веществ – калия, магния, фосфора, железа и др.

На основании анализа результатов исследований научно обосновано соотношение основных сырьевых ингредиентов рецептуры безглютеновых хлебцев – муки киноа и чечевицы в количестве 50 %:50 % и 14 % мальтозной патоки, позволившие получить готовый к выработке продукт (рисунок В.1), обогащенный комплексом функциональных ингредиентов.

5.3 Влияние муки киноа на структурно-механические свойства хлебцев

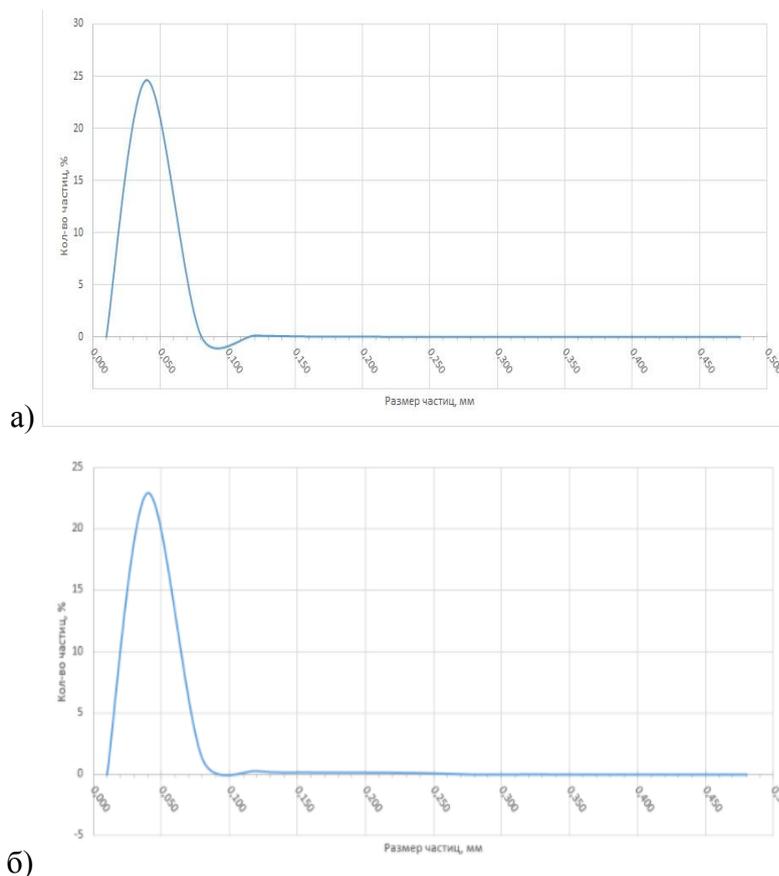
Размер частиц муки для производства хлебцев влияет на скорость протекания коллоидных и биохимических процессов, на качество и выход хлебцев, поэтому имеет важное технологическое значение. В таблице 5.5 приведены показатели дисперсности и морфологические признаки характеристики муки киноа и муки чечевичной.

Таблица 5.5 – Дисперсность, морфологическая особенность частиц чечевичной муки и киноа

Вид муки	$d_{э\text{кв}}$, мкм	Гладкость	Вытянутость	Яркость
Мука киноа	141,8	2,22	1,84	0,84
Мука чечевичная	156,1	2,17	1,74	0,83

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

На рисунке 5.4 приведен гранулометрический состав муки киноа и муки чечевичной. По результатам исследований установлено, что гранулометрический состав муки киноа и муки чечевичной находятся в близких друг к другу пределах.



а) мука киноа; б) мука чечевичная

Рисунок 5.4 – Гранулометрический состав

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

По показателю дисперсности различия между диаметром частиц муки составляют 5-6 мкм, мука киноа имеет немного более вытянутые частицы, а по показателям гладкость и яркость их значения сопоставимы. Следовательно, морфологическое строение и дисперсность частиц муки киноа и чечевицы имеют сопоставимые значения и не окажут отрицательного влияния на технологический процесс приготовления теста.

Для разработки рецептуры в качестве основных безглютеновых источников сырья использовали муку киноа, характеризующуюся отсутствием клейковины и содержащую полноценный белок, имеющую оптимальный состав омега (ω -3: ω -6) жирных кислот, витаминов, минеральных веществ [62]. Следующим безглютеновым рецептурным компонентом выбрана чечевичная мука, в которой содержание белка может достигать 30 %, отличающаяся высоким со-

держанием массовой доли треонина, валина, лейцина, фенилаланина, что позволяет оптимизировать аминокислотный скор готовых изделий. Из литературных данных известно, что чечевица богата полифенольными соединениями, биофлавоноидами, определяющими антиоксидантный эффект, является важным источником витаминов, эссенциальных микроэлементов, пищевых волокон, и серотонина, который формирует устойчивость к депрессии.

Для обогащения хрустящих хлебцев жирорастворимыми антиоксидантами и витаминами, в состав рецептуры вводили измельченные семена льна и подсолнечника, без тепловой обработки – обжаривания. Комбинирование безглютеновых источников, богатых функциональными микро- и макроэлементами, позволяли получить хлебцы с высокой добавленной пищевой ценностью, приятного вкуса, хрустящей и рассыпчатой консистенции.

Для определения оптимального соотношения муки киноа и чечевичной муки при формировании пищевой ценности и органолептических показателей, было использовано планирование эксперимента с применением композиционного униформ-ротатабельного метода, используемого в НИИХП [49; 121]. Установлено, что оптимальным соотношением в рецептурной смеси является 50 %:50 % муки киноа и муки чечевичной. Экспериментальным путем при анализе комплекса органолептических показателей было установлено массовое содержание в рецептуре жиросодержащих компонентов и вспомогательного сырья.

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. На основании полученной математической модели были составлены варианты рецептуры, по которым производили пробную лабораторную выпечку хлебцев с различным соотношением безглютеновых видов муки, указанных в таблице 5.2 в пределах соотношений от 30 % до 70 % муки киноа:чечевицы. Важным критерием потребительских свойств хлебцев является хрупкость, которая характеризуется значениями модуля упругости. В этой связи было изучено влияние рецептурного состава на модуль упругости хлебцев при изгибе.

Структурно-механические свойства хрустящих хлебцев определяли на приборе Структурометр СТ-1М по методике, модифицированной применительно к объекту исследования. Измерение хрупкости хлебцев осуществляется с помощью тензодатчика и присоединяемого к нему индентора [133]. Исследуемый пищевой продукт, хлебец, располагается на предметном столике, подводится под индентор и подвергается деформации. Реологические свойства определялись по усилию разрушения (рисунок 5.5).

На рисунке 5.5 представлены данные влияния соотношения муки киноа, чечевицы и мальтозного сиропа в рецептуре хлебцев на значение усилия разрушения.

На графике представлены варианты рецептур из Матрицы эксперимента по программе Matstat и определению влияния сырьевых компонентов на физико-химические показатели качества и пищевую ценность хлебцев.

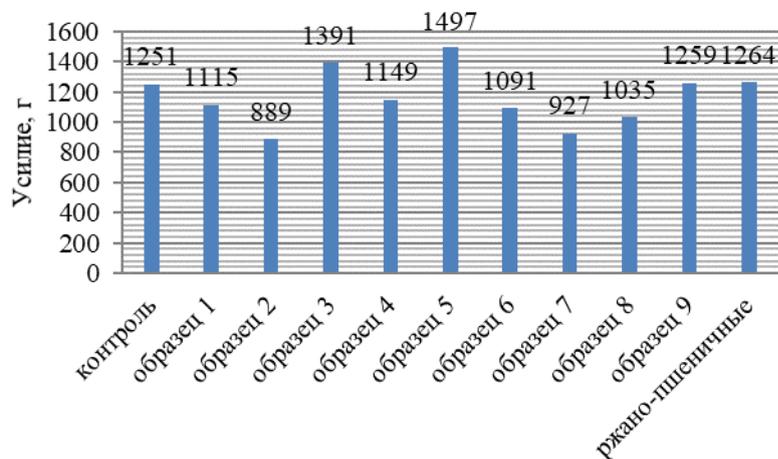


Рисунок 5.5 – Влияние рецептурного состава безглютеновых хлебцев на значение усилия разрушения в соответствии с данными таблицы 5.2

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Из графика следует, на консистенцию хлебцев их хрупкость большое влияние оказывает соотношение муки киноа и чечевицы в рецептуре. При высоком (70 %) и низком (30 %) содержании муки киноа, отмечено низкое значение усилия разрушения, что свидетельствует о чрезмерном снижении прочности хлебцев и повышенной хрупкости слайсов. При высоком содержании муки чечевицы установлена высокая прочность слайсов неприемлемая по органолептическим показателям.

Основываясь на результатах органолептических исследований показателей консистенции, вкуса и внешнего вида и сопоставляя значения хрупкости, полученные на приборе Структурометр СТ-1М, был выбран образец № 9, характеризующийся оптимальным соотношением усилия разрушения и хрупкости, имеющий самые высокие органолептические показатели, по показателю «консистенция» хлебцев – 5 баллов. В других образцах органолептическая оценка по консистенции не превышала 4,7 баллов.

В образце № 9 оптимальное соотношение муки киноа, муки чечевицы составляет 50:50 % и дозировка патоки мальтозной составляет 14 %. В этом варианте значения структурно-механических свойств разрабатываемого продукта – 1459 г и контроля близки и составляют 1251 (пшеничные хлебцы) и 1264 (ржано-пшеничные хлебцы) и характеризуются высоким показателем хрупкости.

На основании полученных результатов анализа органолептических и физико-химических показателей опытных образцов хлебцев и результатов оптимизации рецептуры, полученных при статической обработке в программе "STATISTICA 7.0" была оптимизирована рецептура для производства обогащенных безглютеновых хлебцев (таблица 5.6), что позволило получить продукт с наилучшими показателями качества.

Таблица 5.6 – Рецептура теста для безглютеновых хлебцев

Наименование сырья	Расход сырья
Мука чечевичная, кг	50,0
Мука киноа белая, кг	50,0
Масло льняное, кг	10,0
Натрия карбонат, кг	4,0
Соль пищевая, кг	1,5
Семена подсолнечника, кг	20,0
Семена льна, кг	25,0
Дрожжи хлебопекарные прессованные, кг	1,0
Патока мальтозная, кг	14,0
Вода питьевая, л	по расчету

Источник: составлено автором на основе проведенных исследований.

5.4 Анализ пищевой ценности безглютеновых хлебцев

В соответствии с оптимизированной рецептурой безглютеновых хлебцев была проведена опытная лабораторная выпечка образцов. В опытных образцах были изучены органолептические, физико-химические и микробиологические показатели качества безглютеновых хлебцев.

Органолептическая оценка опытных образцов безглютеновых хлебцев проводилась дегустационной комиссией кафедры товароведения и товарной экспертизы кафедры товароведения и товарной экспертизы в составе 7 человек. Оценка проводилась на соответствие требованиям, установленным в ГОСТ 9846-88 «Хлебцы хрустящие. Технические условия». Результаты представлены в таблице 5.7.

Безглютеновые хлебцы характеризовались высокими органолептическими показателями, имели высокие балльные оценки и полностью соответствовали требованиям стандарта и не

уступали традиционным видам - пшеничным или ржано-пшеничным хлебцам. Безглютеновые хлебцы на основе муки киноа и чечевичной муки имели приятный вкус, выраженный аромат, сохраняли хрустящие свойства в процессе хранения. Проанализировав образцы хлебцев по органолептическим показателям, было установлено, что внесение муки киноа и чечевицы в рецептуру изделий положительно сказывается на вкусе и аромате, цвете и виде на изломе.

Таблица 5.7 – Органолептические показатели качества безглютеновых хлебцев

Органолептический показатель	Описание показателя	Балльная оценка, балл
Внешний вид: форма	слайсы прямоугольной формы	4,8±0,1
Поверхность	слайсы с рельефом на шероховатой поверхности	4,7±0,2
Цвет	светло-коричневый	4,9±0,1
Хрупкость	изделия хрупкие, сопоставимые с классическими контрольными вариантами (пшеничными и ржано-пшеничными) слегка ломающимися	5,0±0,0
Вид в изломе	развитая пористость, разрыхленные, пропеченные	4,9±0,1
Вкус	свойственный хлебцам, с пикантным приятным привкусом, характерным для киноа и чечевицы	5,0±0,0
Запах	свойственный хлебцам, с приятным комплексным ореховым оттенком	4,8±0,2

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Полученные безглютеновые хлебцы имеют высокие показатели качества и могут быть рекомендованы для диетического и профилактического питания широкими слоями населения.

Полученные хлебцы исследовались по основным физико-химическим показателям качества согласно ГОСТ 9846–88 «Хлебцы хрустящие. Технические условия» (таблица 5.8).

Физико-химические показатели пшеничных и ржано-пшеничных хлебцев, представленные в таблице 5.8, несущественно отличались по физико-химическим показателям, поэтому в дальнейших исследованиях в качестве контроля будут использоваться пшеничные хлебцы, имеющие наибольший потребительский спрос. Анализ пищевой ценности хлебцев (таблица 5.9) показал, что содержание белка в обогащенных хлебцах почти на 64 % превышает его содержание в контроле из пшеничной муки и на 65 % в контроле ржано-пшеничных хлебцев. Содержание жиров, с высоким содержанием ПНЖК почти в 2 раза выше в безглютеновых хлебцах.

Учитывая высокое содержание белка в разработанных безглютеновых хлебцах, была изучена биологическая ценность обогащенного продукта. В состав рецептуры кроме основного сырья, муки киноа и чечевицы, входят дополнительные источники белка – семена подсолнечника и льна.

Таблица 5.8 – Физико-химические показатели различных видов хлебцев, %

Показатель	Вид безглютеновых хлебцев		
	мука киноа и чечевичная мука (1:1)	из пшеничной муки (1 контроль)	из ржано-пшеничной муки (2 контроль)
Влажность, %	7,0	8,0	8,5
Кислотность, град.	5,3	5,6	6,2
Массовая доля сахара, %	3,2	7,6	7,8
Массовая доля жира, %	9,0	5,0	4,9±1,0
Намокаемость, %	228	246	230
Кислотное число жира, мг КОН/г	1,7	0,8	0,7
Перекисное число жира, ммоль/кг 1/2O	2,6	2,3	2,2

Источник: составлено автором на основе проведенных исследований.

Таблица 5.9 – Пищевая ценность безглютеновых и традиционных пшеничных хлебцев, г/100 г

Показатель	Вид безглютеновых хлебцев			Суточная потребность, г
	киноа и чечевица (1:1)	пшеничной	смеси ржаной и пшеничной	
Белки	18,04	11,00	10,50	75,00
% удовлетворения суточной потребности	24,05	14,70	14,00	-
Жиры	9,00	5,00	4,90	83,00
% удовлетворения суточной потребности	10,80	6,02	5,90	-
Углеводы	51,40	55,60	60,00	65,00
% удовлетворения суточной потребности	79,10	85,50	92,30	-
Энергетическая ценность, ккал	355,00	346,00	298,00	2500,00
% удовлетворения суточной потребности	14,20	13,80	11,90	-

Источник: составлено автором на основе проведенных исследований.

В этой связи используя разработанную нами компьютерную программу (раздел 5.5) был рассчитан аминокислотный состав белков в составе предложенной рецептуры безглютеновых хлебцев, в пересчете с учетом коэффициента усвояемости (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Аминокислотный состав белков при заданных нормах закладки продуктов в соответствии с рецептурой (г/100 г)

Продукт	Вес, кг	Усваиваемое количество в рецептуре, мг/100 г											
		Белок, г	Триптофан	Треонин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин	Цистин	Фениланин	Тирозин	Валин	Гистидин
Чечевица	50	25,57	53	210	253	424	408	50	77	288	157	290	165
Киноа	50	15,28	128	323	387	644	587	237	156	455	205	456	315
Семена подсолнечника	21	4	60	158	195	280	160	85	78	200	115	225	109
Семена льна	24	0,5	7	17	20	0	0	0	0	21	11	22	11
Итого	145	38	240	706	852	1348	1154	373	309	962	485	991	594
Итого аминокислот мг/г белка	-	-	13,4	40,7	48,8	77,1	65	17,8	17,2	54,4	28,3	56,8	31,5
Аминокислотный скор	-	-	1,3	1,015	1,2	1,1	1,181	1,0		1,38		1,76	
<i>Идеальный белок</i>	-	-	10	40	40	70	55	Мет+цис 35		Фен+тир 60		50	

Источник: составлено автором.

Содержание белка в основном сырье киноа составляет 15,28 г на 100 г и 25,57 г в муке чечевичной. Дополнительно с семенами подсолнечника вносится 3,93 г белка и 0,4 г – в семенах льна. Проведен расчет аминокислотного состава каждого индивидуального источника белка и определен комплексный аминокислотный скор, характеризующий уровень полноценности белка безглютеновых хлебцев. Установлена высокая степень комплементарности аминокислот, входящих в состав белка используемых рецептурных компонентов.

Суммарный состав аминокислот показывает отсутствие лимитирующих аминокислот. Аминокислотный скор незаменимых аминокислот был выше 1. Следовательно, происходит взаимное обогащение состава белков, в результате которого увеличивается общее содержание белка, который полностью соответствует требованиям ВОЗ к составу аминокислот. По уровню сбалансированности аминокислотного состава, белок безглютеновых хлебцев был близок к идеальному белку. Исследуемые образцы безглютеновых хлебцев превосходят известные аналоги из зерновых культур по содержанию белка и превосходят его по биологической ценности.

Второй важной задачей при проектировании химического состава безглютеновых хлебцев, являлось повышение их биологической эффективности за счет повышения содержания полиненасыщенных жирных кислот в составе их жировой фракции. Состав ингредиентов, содер-

жащих жиры, в составе рецептуры подбирались с учетом содержания в них эссенциальных жирных кислот в рекомендуемых соотношениях. Результаты анализа жирнокислотного состава безглютеновых хлебцев представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Жирнокислотный состав безглютеновых хлебцев, % мг

Показатель	Количество, % мг
<i>Ненасыщенные жирные кислоты</i>	
Альфа-линолевая кислота (C18:3n3)	17,00
Арахидоновая кислота (C20:0)	0,25
Деценная кислота (C10:1)	менее 0,1
Линолевая кислота (C18:2n6)	37,90
Миристолеиновая кислота (C14:1)	0,15
Пальмитолеиновая кислота (C16:1)	0,50
Олеиновая кислота (C18:1)	39,00
Докозагексаеновая (ДГК C22:6), Омега-3	0,40
Омега 6/Омега 3	37,90/17,50
<i>Насыщенные жирные кислоты</i>	
Бегеновая кислота (C22:0)	0,40
Каприловая кислота (C8:0)	0,10
Каприновая кислота (C10:0)	0,20
Капроновая кислота (C6:0)	0,15
Лауриновая кислота (C12:0)	0,30
Масляная кислота (C4:0)	0,18
<i>Насыщенные жирные кислоты</i>	
Миристиновая кислота (C14:0)	1,00
Пальмитиновая кислота (C16:0)	10,32
Стеариновая кислота (C18:0)	4,50

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Анализ жирнокислотного состава хлебцев показал, что в хлебцах, изготовленных с использованием киноа, чечевицы, льняного масла и семян льна содержится большое ПНЖК: ω -6 - линолевая кислота (C18:2n6) составляет 37,9 и ω -3 - альфа-линолевая к-та (C18:3n3) - 17,0 % и

докозагексаеновая – 0,4 %. В отличие от хлебцев из зерновых культур, безглютеновые хлебцы содержат ω -3 жирные кислоты – 17,5 %. Зерновые культуры не относятся к источникам ω -3 ПНЖК, в то время как ω -6 ПНЖК содержатся во всех растительных маслах. Источниками ω -3 ПНЖК растительного происхождения считаются масло льняное, бобовых, крестоцветных культур. Следовательно, использование в рецептуре безглютеновых хлебцев чечевицы, семян льна и льняного масла позволило сбалансировать состав ПНЖК, соотношение ω 6: ω 3 жирных кислот равно 37,9:17,5, что составляет 2,2:1 и наиболее приближено к рекомендуемому соотношению по сравнению с зерновыми хлебцами.

В соответствии с рекомендациями В.Б. Спиричева [171] при обогащении хлебобулочных изделий необходимо уделять внимание увеличению содержания витаминов. Все используемые сырьевые компоненты обогащенных хлебцев (киноа, чечевица, льняное семя, семена подсолнечника) богаты водо- и жирорастворимыми витаминами. Уровень достигнутого комплексного обогащения хлебцев представлен в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – 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					

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Используемые сырьевые компоненты безглютеновых хлебцев отличаются высоким потенциалом биологически активных веществ, в т.ч. витаминов. Поэтому содержание всех изученных витаминов существенно превышает их содержание в пшеничных хлебцах. Безглютеновые хлебцы удовлетворяют суточную потребность в витаминах А, В₁, В₉, Е, РР. Витамины Е и РР более чем на 40 % превышают суточную потребность, поэтому можно считать, что безглютеновые хлебцы содержат функциональные ингредиенты.

5.5 Содержание антиоксидантов в безглютеновых хлебах

Важным критерием пищевой ценности является содержание антиоксидантов. Все используемые основные сырьевые компоненты рецептуры обладают выраженной антиоксидантной активностью. В этой связи представляло интерес установить суммарную антиоксидантную активность в готовых хлебах.

Исследование антиоксидантов проводили на кулонометрическом анализаторе МВИ-01-44538054-07 ЭКСПЕРТ-006. Суммарное содержание антиоксидантов рассчитывали в 100 г хлебцев [72] как среднее значение из 7 повторностей. В качестве контроля использовали пшеничные хлебцы. Пересчет проводится на содержание аскорбиновой кислоты (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Суммарное содержание антиоксидантов в хлебах, мкг/100 г (в пересчете на аскорбиновую кислоту)

№ пробы	Контроль (пшеничные хлебцы)	Безглютеновые хлебцы
1	Концентрация в 1 г продукта	
2	5,5962	6,8878
3	4,9869	6,7327
4	5,5259	7,5881
5	5,0806	7,9021
6	4,8556	6,6531
7	4,6088	6,9112
8	5,1583	7,3136
Среднее значение	4,4765	6,2485

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Использование муки киноа, чечевицы, семян льна и подсолнечника при производстве хлебцев позволило на 40 % повысить содержание антиоксидантов, по сравнению с пшеничными хлебцами.

5.6 Изучение микробиологических показателей качества и активности воды безглютеновых хлебцев

Микрофлора муки чечевицы и киноа обсеменена микроорганизмами перерабатываемого сырья, в процессе технологического процесса производства количество и состав микроорганизмов изменяется. Под влиянием микроорганизмов могут возникать нежелательные изменения качества, поэтому этот показатель контролируется для всех видов хлебобулочных изделий.

Результаты микробиологического анализа сырья и готовых изделий приведены в таблицах 5.14 и 5.15.

Полученные результаты демонстрируют эффективность температурной обработки теста при производстве хлебцев. В готовых изделиях происходило снижение общего микробного обсеменения. На поверхности оставались только клетки КМАФАнМ в количестве сопоставимом с их содержанием на пшеничных хлебцах. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» не устанавливает допустимого уровня по обсемененности хлебцев, ориентируясь на близкие виды товаров ДУ для КМАФАнМ составляет 1×10^4 КОЕ/г; для плесени – 50 КОЕ/г и для дрожжей – 100 КОЕ/г. В готовых изделиях количество КМАФАнМ было в 150 раз меньше допустимого уровня, а клеток дрожжей и плесневых грибов обнаружено не было. Следовательно, предложенная рецептура и технология производства безглютеновых хлебцев обеспечивают безопасность продукции по микробиологическим показателям.

Таблица 5.14 – Результаты микробиологического анализа сырья

Вид муки	Дрожжи, КОЕ/г	Плесень, КОЕ/г	КМАФАнМ, КОЕ/г	Спорообразующие бактерии, КОЕ/г
Мука чечевичная	2×10^2	2×10^3	2×10^3	10^3
Мука киноа	100	1500	$1,6 \times 10^2$	$2,7 \times 10^3 \pm 15$

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Таблица 5.15 – Микробиологический анализ готовых изделий

Вид изделия	Дрожжи, КОЕ/г	Плесень, КОЕ/г	КМАФАнМ, КОЕ/г	Спорообразующие бактерии, КОЕ/г
Хлебцы контроль	$< 1,0 \times 10^2$	11	$1,1 \times 10^2$	$2,7 \times 10^3 \pm 15$
Хлебцы безглютеновые	$1,4 \times 10^2$	18	$1,5 \times 10^2$	400 ± 12

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Определение активности воды в хлебцах. В настоящее время важным критерием микробиологической стабильности пищевых продуктов, в т.ч. хлебобулочных, принятый в международной практике оценки микробиологических рисков, является показатель активности воды. Показатель «Активности воды», A_w является важным критерием, определяющим сроки хранения пищевой продукции. Научно обоснована классификация разных видов микроорганизмов, способных размножаться при определенных диапазонах значения A_w , установлены нижние пределы A_w для развития разных видов микроорганизмов. Поэтому определение A_w в пищевом продукте позволяет спрогнозировать вероятность развития и возможные виды микроорганизмов, способные вызвать порчу данного продукта. Чем ниже активность воды, тем медленнее протекают химические и ферментативные процессы.

A_w у продукции с низким содержанием влаги типа крекеров и хрустящих хлебцев должна находиться в пределах 0,30-0,40 ед., при такой активности воды большинство микроорганизмов, вызывающих порчу пищевых продуктов не развиваются. На поверхности продуктов с таким уровнем влажности могут находиться осмофильные дрожжи, плесени *Aspergillus echinulatus*, *Monascus bisporus*. Для определения соответствия значения A_w у приготовленных по новой рецептуре безглютеновых хлебцев рекомендуемым значениям для данной группы продукции, обеспечивающей микробиологическую стабильность на этапах товародвижения, нами были определены значения активности воды для всех вариантов исследуемых образцов в соответствии с матрицей математического планирования эксперимента для предупреждения рисков микробиологических повреждений хлебцев.

Массовая доля основных сырьевых компонентов и концентрация сиропа мальтозного в рецептуре хлебцев оказывают непосредственное влияние на вид и силу связи воды в продукте и, соответственно, определяют ее доступность для развития микроорганизмов. На основании полученных вариантов рецептур при математическом моделировании соотношения муки киноа, чечевичной муки и дозы внесения мальтозного сиропа в заданных исследуемых интервалах с использованием программы НИИХП "MATSTAT", были получены опытные образцы, в которых определяли значение A_w .

Активность воды определяли по ГОСТ ISO 21807-2015 "Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды" на приборе AquaLabPre. Результаты представлены в таблице 5.16.

Как видно из полученных данных, минимальное значение активности воды были в вариантах № 9 и № 8, в образце с соотношением муки киноа: чечевичная мука 50 %:50 % и концентрации мальтозного сиропа – 14 % и 23 %. Однако в предварительных исследованиях на основании комплекса органолептических и физико-химических показателей качества опытных образцов предпочтение было отдано варианту рецептуры с содержанием 14 % мальтозного сиропа

и на его основе была составлена оптимальная рецептура производства безглютеновых хлебцев, при этом A_w составляла 0,380 (таблица 5.17).

Таблица 5.16 – Значение активности воды в образцах исследуемых хлебцев

№ варианта по матрице*	Активность воды
1	0,473
2	0,782
3	0,721
4	0,661
5	0,567
6	0,766
7	0,664
8	0,378
9	0,380
10	0,618
* Номера исследуемых образцов по плану двухфакторного эксперимента ("MATSTAT")	

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Таблица 5.17 – Оптимизация рецептурного состава хлебцев из смеси муки киноа и чечевичной муки (где x_1 – массовая доля муки киноа, %; x_2 – массовая доля патоки мальтозной, %)

№	X1	X2	№	X1	X2
1	35	7	6	70	14
2	35	20	7	50	5
3	64	7	8	50	23
4	64	20	9	50	14
5	30	14	10	50	7

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Учитывая все перечисленные факторы, влияющие на качество безглютеновых хлебцев, была рекомендована рецептура с соотношением муки киноа и муки чечевицы 50 %:50 % и мальтозной патоки – 14 %.

Графическую интерпретацию результатов исследования получили при помощи программы "STATISTICA 7.0" (рисунок 5.6).

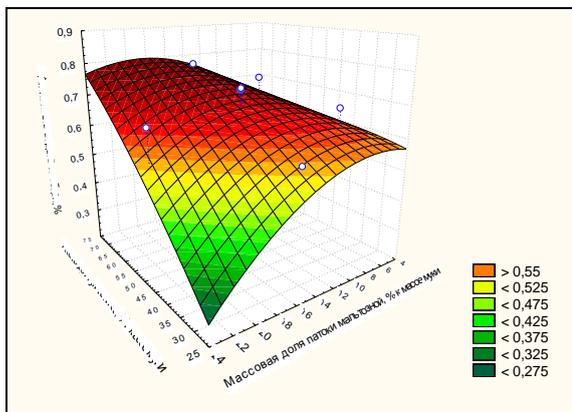


Рисунок 5.6 – Графическая интерпретация значений активности воды безглютеновых хлебцев в зависимости от массовой доли муки киноа, муки чечевицы и патоки мальтозной
Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Данные, представленные на рисунке 5.5 подтверждают выбор оптимальных соотношений в рецептуре безглютеновых хлебцев, обеспечивающей необходимое значение активности воды для предупреждения развития микроорганизмов (зона значений ниже 375).

5.7 Определение сроков годности безглютеновых хлебцев

Важными показателями качества хлебцев, характеризующими их сохранность, являются показатели кислотности и перекисного числа жира и динамика их изменения при хранении. В таблице 5.18 представлена динамика этих показателей при рекомендуемых условиях хранения в упаковке при температуре 20 °С.

Анализируя динамику кислотности хлебцев и перекисного числа на протяжении 8 мес. хранения, была установлена стабильность окислительных процессов, на протяжении 5 месяцев практически не происходило изменения кислотности и перекисного числа. Через 6 месяцев отмечено незначительное увеличение кислотности, а после 7 месяцев хранения произошло его резкое увеличение с 2 до 3 град.

Таблица 5.18 – Изменение перекисного числа жира и кислотности хлебцев в процессе хранения (20 °С)

Показатель	Продолжительность хранения, мес								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Кислотность, град	1,7±0,10	1,7±0,10	1,7±0,10	1,7±0,10	1,7±0,10	1,7±0,10	1,7±0,10	1,8±0,10	3,0±0,10
Перекисное число жира, ммоль акт. кислорода/кг	2,3±0,15	2,3±0,15	2,3±0,15	2,5±0,15	2,5±0,15	2,5±0,15	2,6±0,15	2,9±0,15	3,5±0,15

Источник: составлено автором на основе проведенных исследований.

Аналогичная картина была установлена для характера изменения перекисного числа незначительное увеличение произошло после 6 мес. хранения и после 7 и 8 мес. происходило более интенсивное накопление перекисей и перекисное число увеличилось с 2,9 до 3,9 ммоль акт. кислорода/кг. В ГОСТ 9846-88 установлено допустимое значение для кислотности хлебцев пшеничных – не более 6 град. Значение перекисного числа для хлебцев не регламентируется. Мы ориентировались на допустимый уровень перекисного числа в подсолнечном масле (ГОСТ 1129-2013), где значение перекисного числа не должно превышать 4,0 ммоль акт. кислорода/кг. Следовательно, по установленным физико-химическим показателям хлебцы могут храниться в рамках допустимых отклонений в течение 6 мес., через 7 мес. перекисное число достигает порогового уровня.

В этой связи была установлена корреляция показателей перекисного окисления жира хлебцев и органолептических показателей (таблица 5.19).

Таблица 5.19 – Изменение органолептических показателей качества хлебцев по показателям вкус и запах при хранении (20 °С)

Показатель	Продолжительность хранения, мес.								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Вкус	4,9±0,10	4,9±0,12	4,9±0,11	4,9±0,12	4,9±0,13	4,9±0,13	4,9±0,15	4,5±0,14	3,0±0,15
Запах	5,0±0,10	5,0±0,10	5,0±0,12	5,0±0,11	5,0±0,10	5,0±0,12	4,9±0,11	4,5±0,12	3,5±0,14

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Сопоставляя характер изменения органолептических показателей с показателями кислотности и перекисного числа, отмечено, что первые признаки прогорклого запаха появились в хлебцах после 7 мес. хранения, что совпадает с активизацией окислительных процессов. Учи-

тывая рекомендации по определению срока годности пищевых продуктов, МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов» мы использовали коэффициент резерва для нескоропортящихся продуктов, который составляет 1,15. С учетом коэффициента резерва можно рекомендовать срок годности хлебцев – 6 мес. ГОСТ 9846-88 «Хлебцы хрустящие» рекомендует для простых хрустящих хлебцев срок хранения - 4 мес.

Анализ сроков годности, которые устанавливает производитель для хлебцев в зависимости от видов основного сырья и состава рецептуры, показал, что его продолжительность колеблется от 3 до 12 месяцев. Учитывая, что в составе безглютеновых хлебцев находился повышенное содержание жира, но в состав его входит большое количество водорастворимых и жирорастворимых антиоксидантов, предложенный нами срок годности хлебцев превышает рекомендуемый ГОСТ – 4 мес., но не достигает максимального значения, установленного некоторыми производителями – 12 мес. и составляет 6 мес. в упакованном виде при температуре 20 °С и ОВВ - 75 % (по рекомендации в ГОСТ 9846-88).

5.8 Разработка компьютерной программы для многокритериальной оценки разрабатываемых рецептов специализированных и обогащенных хлебопродуктов (на примере безглютеновых хлебцев и хлеба обогащенного мукой киноа)

Для разработки пищевых продуктов с заданным химическим составом необходимо в рецептуре сбалансировать многокомпонентный состав таким образом, чтобы получить нужные параметры пищевой ценности. Проектирование рецептуры многокомпонентных пищевых продуктов производится с помощью макро- и микронутриентов сырьевых источников, в результате формируется химический состав продукта в соответствии с заданными условиями профилактического, функционального или лечебного питания.

Единой официальной признанной методологии по проектированию заданного химического состава для пищевых продуктов не существует. Оптимизация может производиться по разным критериям. При корректировке больше одной характеристики пищевой ценности, обязательно должна использоваться система многокритериальной оценки.

Для корректировки химического состава разработанных обогащенных и безглютеновых хлебопродуктов поставлена задача в первую очередь проведения расчет аминокислотного scores, который производится на основании рекомендаций ФАО ВОЗ (2013 г.). При этом ВОЗ рекомендует учитывать фактор усвояемости белка и отдельных аминокислот из разных источни-

ков, что учитывается при помощи показателя PDCAAS (Protein Digestibility - Corrected Amino Acid Score) [220, с. 22-27]. При проектировании количества белка и аминокислотного состава пищевых продуктов необходимо учитывать потребности разных возрастных групп. При проектировании были использованы национальные и международные базы данных по химическому составу пищевых продуктов [189; 197; 200; 105] и результаты современных научных исследований [147; 228; 243; 248].

На втором этапе проектирования была проведена количественная и качественная оценка жиров в продуктах для определения необходимого подхода к формированию полноценного по количеству и составу жиров, их жирнокислотному составу и соотношению полиненасыщенных жирных кислот. Программа содержит базу данных по международным и национальным рекомендациям по составу «идеального» жира и справочно-информационную базу данных по содержанию жира в пищевых продуктах и их жирнокислотному составу [129]. Дополнительно учитывались рекомендации ФАО и данные, которые представлены EFSA [233].

Оптимизация количества и состава углеводов, минеральных веществ и витаминов осуществлялась на основании рекомендаций МР [129] по нормам физиологических потребностей для различных групп населения Российской Федерации.

Для реализации данной задачи нами была разработана и зарегистрирована компьютерная программа «Компьютерная программа количественной оценки пищевой ценности разрабатываемого пищевого продукта» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 08.10.2019 № 2019663017) (рисунок Г.1). Данная программа создана для выполнения расчетов количественных показателей пищевой ценности, проведения оптимизации и редактирования рецептурного состава при разработке специализированных и обогащенных продуктов. При анализе рецептуры на экране выводится информация о химическом составе. Программа выполняет в автоматическом режиме расчет нутриентного состава. Программа содержит базу национальных и международных справочных данных по химическому составу пищевых продуктов, уровень снижения пищевой ценности при технологической обработке, уровень усвоения нутриентов, справочные материалы по эталонам, рекомендованных ФАО ВОЗ. Программа предусматривает возможность автоматического заполнения справочных данных и заполнения шаблонов с использованием средств подпрограммы массовой загрузки для формирования рецептурного состава и дает возможность в ручном режиме корректировать рецептурный состав и формировать соответствующий регистр данных. Программа позволяет осуществлять копирование данных, относящихся к продуктам-аналогам и вводить их в табличные шаблоны, дает возможность осуществлять загрузку данных из внешних источников, справочных материалов, содержащихся в буфере обмена.

На основании собственной базы данных и внешних справочных материалов программа позволяет производить расчет необходимых критериев пищевой ценности. Программа позволяет экспортировать расчетные данные для осуществления статистической обработки с использованием программ Statistica и Excel. Программа позволяет в исходном коде осуществлять модификацию файловой информации при использовании базовой платформы программы 1С, в состав программы включена информационная база, включающая цифровые массивы российского справочника химического состава пищевых продуктов и зарубежная база данных макро- и микронутриентного состава пищевых продуктов, справочные материалы ФАО/ВОЗ по идеальному белку, PDCAAS, «идеальному» жиру и др. 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 [82].

С помощью данной программы были рассчитаны показатели пищевой ценности при корректировке химического состава специализированных и обогащенных хлебопродуктов, разработанных в данной работе – хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа и безглютеновых хлебцев. Программа позволила провести автоматизированную корректировку химического состава с учетом показателей, характеризующих биологическую ценность, биологическую эффективность, содержание макро- и микронутриентов с учетом потерь при технологической обработке. На первом этапе проводится расчет показателей качества белка, в том числе, содержание незаменимых аминокислот (НАК), аминокислотный скор (таблица 5.20) и значения PDCAAS, характеризующие скор незаменимых аминокислот по шкале и алгоритму ФАО/ВОЗ с учетом коэффициента усвояемости (таблица 5.21). Расчет PDCAAS проводили по формуле:

$$\text{PDCAAS} = \text{Усваиваемость} \times \text{С(аминокислотный скор)}, \quad (5.3)$$

На следующем этапе с помощью компьютерной программы проводили оптимизацию соотношения основных сырьевых источников белка (рисунок Д.1).

При проектировании рецептуры безглютеновых хлебцев – муки чечевичной и муки киноа оптимизация проводилась по показателю PDCAAS с целью получения значения аминокислотного сора с учетом коэффициента усвоения максимально возможно приближенного к 1. Результаты компьютерной коррекции приведены в таблице 5.22. Параллельно проводились исследования органолептических показателей пробных выпечек по исследуемым вариантам.

На основании результатов оптимизации содержания белка и аминокислотного состава, проведенного с использованием математической модели, предложенной в данной программе и с последующим сопоставлением с результатами изучения органолептических предпочтений

пробных выпечек, сделанных по исследуемым рецептурам, был оптимизирован рецептурный состав белковых сырьевых компонентов.

Таблица 5.20 – Состав НАК в безглютеновых хлебцах [197, 198, База данных USDASR27]

Рецептурный состав, мг/100г	По 1		По 2		Вид незаменимых аминокислот							
	код	белок, г/100	код	белок, г/100	триптофан	треонин	изолейцин	лейцин	лизин	метионин	фениланин	валин
Чечевица	7.1.15	45,9	16144	46	0,112	0,448	0,539	0,905	0,870	0,106	0,615	0,619
Киноа	нд	24	20035	25	0,284	0,716	0,857	1,428	1,302	0,525	1,008	1,010
Семена подсолнечника	5.1.14	23,1	12039	23,5	0,352	0,941	1,154	1,680	0,949	0,501	1,183	1,332
Семена льна	нд	1,9	12220	2	0,031	0,079	0,092	0,127	0,089	0,038	0,099	0,110

Таблица 5.21 – Содержание усваиваемого количества НАК в рецептуре безглютеновых хлебцев

Рецептурный состав, мг/100г	Содержание НАК, мг на 1 г белка							Усваиваемость, %	Белок, г	Количество усваиваемых НАК на 100 г рецептурного состава							
	триптофан	треонин	изолейцин	лейцин	лизин	метионин	цистин			триптофан	треонин	изолейцин	лейцин	лизин	метионин	цистин	
Чечевица	2	10	12	20	19	2	4	94	21,57	53	210	253	424	408	50	77	
Киноа	11	29	34	57	52	21	14	94	11,28	128	323	387	644	587	237	156	
Семена подсолнечника	15	40	49	71	40	21	19	85	3,93	59	157	193	281	159	84	76	
Семена льна	16	40	46	64	45	19	18	85	0,40	6	16	19	0	0	0	0	
Итого									37	240	706	852	1349	1154	371	309	
Итого аминокислот мг/г белка									90	-	7	19	23	37	31	10	8

Аналогично составлена подпрограмма по оптимизации состава жиров. В международной практике нет единого четкого мнения по эталонному соотношению жирных кислот, поэтому нами использовались рекомендации, установленные в России в соответствии с нормами физиологических потребностей: содержание МНЖК по доле в калорийности – 10 %; содержание ПНЖК по доле в калорийности – 6 % - 10 % (5 % - 14 % для детей); омега-6 ЖК по доле в калорийности – 5 % - 8 % (4 % - 12 % для детей); омега-3 ЖК по доле в калорийности – 1 % - 2 %; соотношение омега-6 и омега-3 – 5-10:1; стерины (основной представитель холестерина) – до

300 мг в сутки; фосфолипиды – 5-7 г в сутки [129]. Дополнительно учитывались рекомендации ФАО и данные, которые представлены EFSA по составу идеального жира, которые тоже имеются в базе данных программного обеспечения [233].

Таблица 5.22 – Компьютерная корректировка рецептурного состава безглютеновых хлебцев с учетом коэффициента PDCAAS

Соотношение муки чечевицы и муки киноа в рецептурной смеси, %	Аминокислотный скор в рецептуре: мг НАК/г белка в отношении к эталону с учетом усвояемости				PDCAAS
	лизин	серосодержащие аминокислоты	треонин	триптофан	
60:40	0,790	0,980	0,990	1,100	0,810
55:45	0,890	1,051	1,069	1,395	0,887
50:50	0,980	1,120	1,100	1,400	0,989

По базе данных химического состава сырьевых жиросодержащих ингредиентов рецептуры проектируемого продукта определяется фактическое содержание жира и жирнокислотный состав каждого компонента (рисунок Д.2) и сопоставляется со справочным составом рекомендуемого количества и состава индивидуальных насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, определяется соотношение НЖК и ПНЖК, соотношение ω -3 и ω -6 жирных кислот. Пример формирования и корректировки параметров представлен на рисунке 5.7.

На рисунке 5.8 представлен пример оптимизации содержания жиросодержащих ингредиентов в соответствии со справочной базой «формула жира» с учетом установленных безопасных норм потребления.

Методом линейного программирования проводится оптимизация состава корректируемого нутриента с учетом значений верхней и нижней границы значений, значимости конкретного ингредиента в рецептуре и весовых коэффициентов, количества корректируемых значений, указываются возможные пределы количественного содержания нутриента и его отдельных фракций, устанавливаются пределы содержания сырьевых ингредиентов в рецептуре и т.д. Индивидуальные критерии могут ограничиваться значениями, определенными понятиями (не более, не менее, лучше больше) или указываются конкретные цифровые значения или оценочные значения в баллах.

Показатель	От	До
НЖК/ПНЖК	0,600	0,900
Линолевая/Линоленовая	7,000	40,000
Линолевая/Олеиновая	0,250	0,400
(Олеиновая+Линолевая)/(...)	0,900	1,400
НЖК_ДоляВес	25,000	35,000
МНЖК_ДоляВес	55,000	65,000
ПНЖК_ДоляВес	10,000	15,000
Омега6/Омега3	10,000	10,000

Рисунок 5.7 – Формирование параметров "идеального" жира

Источник: составлено автором на основе проведённых исследований.

Показатель	От	До
НЖК/ПНЖК	0,600	0,900
Линолевая/Линоленовая	7,000	40,000
Линолевая/Олеиновая	0,250	0,400
(Олеиновая+Линолевая)/(Пентадециловая+Стеариновая)	0,900	1,400
НЖК_ДоляВес	25,000	35,000
МНЖК_ДоляВес	55,000	65,000
ПНЖК_ДоляВес	10,000	15,000
Омега6/Омега3	10,000	10,000

Рисунок 5.8 – Оптимизация "формулы" жира

Источник: составлено автором на основе проведённых исследований.

При создании программы применяется многокритериальный подход, который использует интегральные функции оценки индивидуальных значений корректируемых показателей макро- и микронутриентов. Использование комбинаторного подхода позволяет программе создавать несколько вариантов рецептурных составов для принятия экспертного или программного оптимального решения. В компьютерную программу включена подсистема «Продукты», в которой предусмотрен сервис «Оптимизация», сначала производится частная оптимизация по индивидуальным показателям химического состава, на основании которых осуществляется комплексная конечная. Стандартная задача по оптимизации нутриентного состава требует аналити-

ческого способа решения. Для этого можно воспользоваться классической эффективной формулой:

$$\text{НижняяГраница}_i \leq \text{Вес}_i \leq \text{ВерхняяГраница}_i, \quad (5.4)$$

Целевая функция оптимизации:

$$\max \left(\sum_{n=1}^{\text{Число нутриентов}} (\text{Нутриент}_n \times \text{Значимость}_n) \right), \quad (5.5)$$

В формате данной программы комбинаторный подход реализуется с помощью подбора и оценивания нескольких вариантов, а также выбора лучшего из существующих. При этом все данные вносятся в протокол. В результате подобного подхода появляется несколько вариантов рецептуры, в дальнейшем их могут оценить эксперты и выбрать лучший. Дополнительно имеется система для упорядочивания всех вариантов с помощью оценки интегрального показателя качества. При этом первые варианты обладают лучшими показателями, а дальше они располагаются по убыванию. В результате решается задача по поиску наилучшего варианта, который максимально приближен к идеальному.

Важно учитывать, что оптимизация рецептуры осуществляется в формате использования диапазонов допустимых значений и происходит технологическая стадия исследования. Есть несколько вариантов оптимизации в формате компьютерной программы, они проиллюстрированы на рисунке 5.9.

В правой части располагается название рецептуры и вес готового продукта, также отмечается вес ингредиентов. Это основные показатели для оптимизации состава с учетом массы ингредиентов. В нижней части располагаются основные параметры, в частности степень значимости, набор критериев по базе данных оптимальных для данного случая (на примере для идеального жира) в формате ссылки. Над самой таблицей располагается командная панель управления, по которой можно войти в каталоге.

Процесс оптимизации заключается в том, чтобы подобрать идеальную комбинацию ингредиентов. Полученные результаты оформляются в форме протокола и могут в дальнейшем использоваться, программа также позволяет получить выписку с несколькими лучшими вариантами. Комбинаторная задача представляет собой перебор результатов, в частности для этого понадобится время в несколько минут или более.

Оптимизация

▶ Запустить Выписка из протокола оптимизации

Рецептура: Новая рецептура Выход: 400 % отхода: 12,70 Сумма ингредиентов: 458,0

Веса компонент: А/К: 1,000 Ж/К: 0,300

Формула жира: Гипотетический идеальный жир

Состав Протокол

Обновить состав Проверить чувствительность строк Оценить число вариантов

Продукт	Минимум	Максимум	Оптимум
Чечевица, зерно	35	45	
Киноа (лебеда), сырое	55	65	
Масло льняное	8	10	
Разрыхлители, сода для выпечки	4	4	
Соль поваренная пищевая	5	5	
Подсолнечник	15	20	
Семя, льняное	20	30	
Сироп, кукурузный, темный	14	14	
*Вода	270	300	
	426	493	

Процент разброса исходных значений: 3 Заполнить минимум/максимум

Файл-флажок "Выполнение": D:\Кокорина\ИБ\Выполнение. Открыть каталог

Рисунок 5.9 – Форма обработки "Оптимизация"

Источник: составлено автором на основании проведенных исследований.

Программа использует несколько средств для управления процессом оптимизации:

- все полученные варианты сразу вносятся в протокол, чтобы не исследовать их повторно, отдельно есть возможность оценить все значения оценки каждого варианта и увидеть раскладку продуктов;

- время, которое необходимо для проведения процедуры оптимизации зависит в первую очередь от тех вариантов, которые были представлены. Также на него дополнительно влияет диапазон, который задан изначально, чем он больше, тем больше будет предлагаться вариантов и потребуются более длительное время их оценки;

- при необходимости можно уменьшить количество оцениваемых вариантов. Для этого корректируют диапазон, значительно изменяя значение минимума и максимума. Для продуктов, которые не влияют на процесс оптимизации (например, соль и сахар) может быть определено одно конкретное значение, оно разрабатывается на технологической стадии проработки;

- на первой стадии проводится пробная оптимизация. При этом для сокращения времени обычно используется минимальный диапазон;

- в дальнейшем следует указать необходимые значения минимума и максимума, при этом стоит учитывать, что постоянно должен быть включен баланс по массе, в результате с учетом веса каждого ингредиента в комплексе должен получиться указанный вес готового продук-

та, определяющий содержание корректируемых ингредиентов. Когда задают определенный баланс необходимо ориентироваться на то, что вариантов должно быть более 1.

А расчёт экономической эффективности (таблицы Е.1-Е.6) производства разработанных хлебобулочных изделий позволяет определить наиболее оптимальный вариант.

В качестве примера подобных весовых коэффициентов стоит рассмотреть несколько основных:

- при значении 0 подобный коэффициент вовсе не используется в процессе оптимизации;
- если имеются полностью равные критерии, то значения также берутся равными и используются для дальнейшей оптимизации в формате одинаковой важности;
- дополнительно определенные критерии могут использоваться с понятием, чем больше, тем лучше, а также с иерархией веса от 1 до 100.

Необходимо учитывать, что комплексная оценка возможна только лишь с помощью тщательного анализа частных оценок, например, для аминокислотного и жирнокислотного состава. Процесс оптимизации предоставляет вариант, который в дальнейшем хранится в базе данных. Есть возможность получить выписку по каждому предложенному варианту и сравнить его со последующими. При этом протокол предлагается в виде полной информации по продуктам, их основной целевой функции, а также по главным компонентам. Полная информация о программе "Компьютерная программа для проектирования пищевых продуктов с заданным химическим составом и пищевой ценностью" от 08.10.2019 № 2019663017 представлена на диске (приложение Ж).

5.9 Изучение эффективности проявления функциональных свойств обогащенных хлебобулочных изделий и безглютеновых хлебцев в опытах на лабораторных животных

Для исследования функциональной эффективности новых видов хлебопродуктов были проведены доклинические испытания на лабораторных животных. В качестве подопытных животных были использованы белые беспородные крысы в соответствии с утвержденной методикой *in vivo*. Исследования проводились в виварии ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (рисунок И.1) в соответствии санитарно-эпидемиологическим правилам 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 [95, с. 72–78; 159].

Соблюдая принцип аналога, было сформировано 4 группы животных, включающих 6 бе-

лых беспородных крыс. Каждая группа имела индивидуальный рацион питания: 1 – контрольный вариант хлебцев; 2 – экспериментальный вариант безглютеновых хлебцев; 3 – контрольный вариант пшеничного хлеба без добавки киноа; 4 – экспериментальный вариант хлеба пшеничного, обогащенного мукой киноа. Кормление лабораторных животных проводили в течение 14 дней. В период проведения опыта фиксировали массу тела до начала проведения эксперимента, через 7 дней и при завершении опыта.

Отмечали активность жизнедеятельности животных, особенности поведенческих реакций, наличие признаков интоксикации, объем потребления пищи, режим и объем потребления воды. В эти же сроки проводили забор крови для биохимических исследований. Определяли влияние новых продуктов в рационе питания на микробиоту толстого отдела кишечника. Установление влияния рациона питания на появление признаков постпрандиальной гликемии проводили после завершения экспериментального кормления. Через 16 часов без кормления определяли концентрацию глюкозы в крови, скармливали экспериментальные образцы хлебобулочных продуктов и повторяли анализ через установленные промежутки времени.

По утвержденной методике осуществляли экспериментальное повреждение слизистой оболочки ЖКТ у всех испытуемых особей. Для изучения влияния экспериментального рациона на аэробную и анаэробную микробиоту кишечника крыс, осуществляли по утвержденной методике забор кала, выделение микроорганизмов и проводили посев на селективные питательные среды. По морфологическим, физиологическим, биохимическим характеристикам производили идентификацию микроорганизмов.

Анализ реакции лабораторных животных, физиологических особенностей поведения, дыхательной активности, отношения к еде и воде не проявил никаких отклонений от нормальных реакций. Реакции животных в контрольных группах не отличались от поведенческих реакций в экспериментальных группах. Результаты измерения веса лабораторных животных представлены в таблице 5.23.

Контрольные образцы хлебцев через семь суток кормления приводили к снижению массы тела более, чем на 10 г, в то время как использование в рационе безглютеновых хлебцев приводило к обратной реакции – вес крыс увеличился в среднем более, чем 4 г. Лабораторные животные, в рацион которых входил пшеничный хлеб в контрольном и опытном варианте показали увеличение веса через семь дней. При кормлении крыс хлебом пшеничным, обогащенного мукой киноа привес составил 9,8 г, в контрольной группе средний привес был меньше и составил 9,4 г.

На 14-й день в группе, получавшей «хлебцы без добавок» отмечено восстановление прироста массы тела. Прирост массы тела составил 6,6 г, а в опытной группе на рационе «хлебцы с добавками» был существенно выше - 9,5 г.

Таблица 5.23 – Масса тела лабораторных животных при введении в рацион питания обогащенных хлебобулочных изделий и безглютеновых хлебцев

Группа, г			
хлебцы контроль	безглютеновые хлебцы	хлеб пшеничный контроль	хлеб пшеничный, обогащенный мукой киноа
1 сутки			
178,6±1,78	177,5±0,25	181,8±1,69	180,5±1,88
7 сутки			
168,1±1,71	181,7±1,87	191,2±2,59	190,3±1,62
14 сутки			
175,3±2,11	191,2±1,18	202,5±2,21	203,2±2,14

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

За весь период наблюдения в группе, получавшей «хлеб без добавок» (контроль) прирост массы тела составил 20,7 г, а в опытной группе – 22,7 г. Следовательно, использование в рационе питания обогащенного хлеба и безглютеновых хлебцев приводило увеличению веса всех особей в группе на протяжении всего эксперимента. Это свидетельствует о более высокой доступности, более высокой степени удовлетворения физиологических потребностей организма лабораторных животных, более высокой их пищевой и энергетической ценности экспериментальных хлебопродуктов.

По данным биохимических показателей крови, у животных опытных групп отмечено снижение количества общего белка и альбумина. В то же время, в обеих опытных группах 2 и 4, получавших безглютеновые хлебные изделия и обогащенный хлеб на 14-й день наблюдения количество общего белка было выше в сравнении с контролем на 7,3 % и 9,4 % соответственно (таблица 5.24).

Щелочная фосфатаза, преимущественно находящаяся в клетках печени и желчевыводящих путей, ускоряет ряд биохимических реакций в организме животных. Значительное повышение активности щелочной фосфатазы может происходить при возникновении дисбаланса питательных веществ. В контрольных вариантах активность щелочной фосфатазы повышалась значительно больше, чем в опыте. Отмечено повышение активности ЩФ у животных контрольных групп 1 и 3 на 5,83 % и 9,65 % может свидетельствовать о дисбалансе питательных веществ рациона, и соответственно увеличении фермента в крови. Следовательно, можно считать, что рацион опытных животных более сбалансирован по количеству и составу функциональных ингредиентов пищи.

Таблица 5.24 – Биохимические показатели крови животных

Показатель	Группы животных			
	хлебцы без добавок	хлебцы с добавками	хлеб без добавок	хлеб с добавками
До перевода на экспериментальное кормление				
Общий белок, г/л	67,30±4,34	65,20±5,25	63,3±3,21	66,9±4,59
Альбумин	31,50±2,51	33,70±2,44	33,80±2,35	32,30±2,23
АсАТ, Ед/л	272,00±24,10	237,00±25,10	234,00±22,50	214,00±26,80
АлАТ, Ед/л	57,50±2,48	49,30±2,47	49,10±3,12	40,90±3,26
ЩФ, Ед/л	312,50±29,50	317,40±21,20	322,50±18,40	311,70±26,30
Мочевина, ммоль/л	8,30±1,20	7,90±1,10	8,40±0,90	7,29±1,20
Креатинин, мкм/л	45,00±2,10	41,00±2,50	51,00±2,30	47,00±2,20
Глюкоза, моль/л	5,21±1,12	5,24±0,59	5,23±0,62	5,12±0,85
Билирубин общий, мкм/л	0,78±0,03	0,69±0,02	0,62±0,04	0,75±0,02
Холестерин	2,20±0,81	2,50±0,65	2,30±0,41	2,00±0,32
Фосфор	2,07±0,29	1,89±0,24	2,68±0,19	1,90±0,21
Кальций, ммоль/л	2,52±0,18	2,61±0,23	2,62±0,31	2,51±0,42
Натрий, ммоль/л	134,20±12,80	133,40±11,60	134,30±14,20	134,50±15,10
Через 7 суток				
Общий белок, г/л	58,00±2,11	61,5±2,13	59,3±1,90	64,1±2,20
Альбумин г/л	27,20±1,14	29,4±1,42	29,3±1,36	32,1±1,62
АсАТ, Ед/л	288,00±25,30	257,0±24,80	264,0±21,70	229,0±23,60
АлАТ, Ед/л	48,20±2,15	51,6±2,06	41,0±2,45	44,7±1,92
ЩФ, Ед/л	346,4±26,70	338,1±24,80	362,3±22,50	335,8±21,10
Мочевина, ммоль/л	10,3±1,25	8,8±1,31	9,9±1,45	8,7±1,24
Креатинин, мкм/л	49,0±2,10	43,0±2,40	58,0±2,20	49,0±2,60
Глюкоза, моль/л	6,77±0,95	5,46±1,11	6,53±0,35	5,42±1,12
Билирубин общий, мкм/л	0,51±0,02	0,54±0,01	0,52±0,03	0,55±0,02
Холестерин	2,4±0,75	2,6±0,45	2,9±0,61	2,1±0,23
Фосфор	1,77±0,46	1,79±0,62	1,98±0,65	1,82±0,44
Кальций	2,12±0,64	2,55±0,55	2,25±0,45	2,24±0,35

Продолжение таблицы 5.24

Показатель	Группы животных			
	хлебцы без добавок	хлебцы с добавками	хлеб без добавок	хлеб с добавками
Натрий	125,20±6,50	128,20±8,40	118,60±9,80	128,50±9,20
Через 14 суток				
Общий белок, г/л	56,20±1,95	60,30±2,42	59,80±1,81	63,40±1,86
Альбумин г/л	26,50±1,41	28,90±1,32	27,50±1,25	31,60±1,21
АсАТ, Ед/л	289,00±19,40	261,00±21,60	265,00±22,40	231,00±18,4
АлАТ, Ед/л	47,50±2,12	51,80±2,21	42,60±3,15	44,90±2,05
ЩФ, Ед/л	362,40±25,40	341,30±25,20	370,10±24,60	334,40±25,10
Мочевина, ммоль/л	10,80±1,12	9,10±0,81	10,50±0,92	9,90±0,82
Креатинин, мкм/л	50,50±2,20	46,80±2,10	61,10±2,40	52,30±2,10
Глюкоза, моль/л	7,28±1,23	6,21±0,85	7,13±1,16	6,22±1,35
Билирубин общий, мкм/л	0,55±0,02	0,51±0,04	0,52±0,02	0,53±0,01
Холестерин	2,70±0,45	2,50±0,25	2,90±0,24	2,10±0,35
Фосфор	1,62±0,52	1,75±0,34	1,85±0,22	1,81±0,43
Кальций	2,08±0,15	2,42±0,16	2,25±0,15	2,23±0,12
Натрий	121,20±2,11	122,50±2,18	115,20±2,05	126,10±2,08

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Активность аминотрансферазов в исследуемых группах животных изменялась в незначительных допустимых пределах, не вызывающих развитие цитолиза.

Повышение концентрации креатинина, мочевины, дисбаланс электролитов у подопытных более значимый в группах 1 и 3, может свидетельствовать о нарушении функции почек, обмена веществ на фоне повреждения клеток эпителия и нарушения резорбции электролитов из просвета тонкого отдела кишечника. Результаты биохимических исследований крови в четырех группах лабораторных животных представлена в таблице 5.24.

Хлебопродукты относят к высокоуглеводным продуктам, поэтому большое значение имеет определение риска повышения концентрации глюкозы в крови. Определение содержания глюкозы в крови подопытных животных установило более высокое содержания глюкозы в сыворотке крови у животных контрольных групп на 14,7 % и 12,7 % соответственно, по сравне-

нию с животными, в рацион которых входили экспериментальные хлебопродукты, содержащие в рецептуре компоненты, снижающие уровень сахара в крови, инсулина и триглицеридов.

Увеличение концентрации глюкозы в крови лабораторных животных было значительно ниже в группах, получающих в питание безглютеновые хлебцы и пшеничный хлеб, обогащенный мукой киноа (таблица 5.25).

Таблица 5.25 – Изменение уровня глюкозы в крови лабораторных животных

Время теста, мин	Группа, доза, мг/кг			
	1	2	3	4
	хлебцы без добавок	хлебцы с добавками	хлеб без добавок	хлеб с добавками
0	7,28	6,21	7,13	6,22
30	28,10	21,50	26,70	22,70
60	26,30	18,20	22,50	20,10
90	17,20	12,40	19,40	16,70
120	14,10	9,10	12,60	10,30

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

Сравнительная характеристика аэробной и анаэробной микрофлоры толстого кишечника 4 групп лабораторных животных представлена в таблице 5.26. Рацион с применением хлебных изделий с добавками способствовал повышению количества анаэробов и основной группы сахаролитических бактерий – бифидобактерий и лактобактерий, подавляющих активность гнилостных бактерий и обладающих антибактериальной активностью.

Повышение количества в толстом отделе кишечника условно-патогенной микрофлоры может быть свидетельством некоторого нарушения эубиоза – качественного и количественного соотношения популяций микроорганизмов, поддерживающих биохимическое, метаболическое и иммунологическое равновесие. В кишечнике крыс, получающих безглютеновые хлебцы и обогащенный киноа пшеничный хлеб повышается количество бифидо- и лактобактерий, играющих важную роль в формировании естественного иммунитета организма. У крыс, в рационе питания которых входили экспериментальные хлебопродукты в кишечнике уменьшается численность условно-патогенной микрофлоры по сравнению с аналогичным рационом контрольных образцов.

Таблица 5.26 – Сравнительная характеристика микрофлоры толстого кишечника животных, lg КОЕ/г

Группы микроорганизмов	Группа			
	хлебцы, контроль	безглютеновые хлебцы	пшеничный хлеб, контроль	пшеничный хлеб, обогащенный киноа
Общее количество анаэробов	8,00	8,00	8,00	9,00
Бифидобактерии	8,00	8,50	8,00	9,00
Лактобактерии	4,00	4,50	4,00	4,75
Общее количество аэробов	7,00	7,25	7,50	7,75
Эшерихии лактозопозитивные	6,25	6,50	6,50	7,00
Лактозонегативные энтеробактерии	7,25	7,50	7,00	7,25
Газообразующая микрофлора	7,00	7,25	7,25	7,75
<i>Proteus vulgaris</i>	2,25	2,00	2,00	2,50

Источник: составлено автором на основании проведенных лабораторных исследований.

В опытах на лабораторных животных установлено, что безглютеновые хлебцы и обогащенный киноа пшеничный хлеб стимулирует развитие полезной микрофлоры кишечника, 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.

Как показывают исследования, у животных, в рацион которых входили экспериментальные продукты, активизировался метаболизм, снижалось содержание холестерина низкой плотности в крови. 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 заболеваний инфекционными заболеваниями и сахарным диабетом, а безглютеновые хлебцы для профилактики аллергической энтеропатии и НГБЦ (рисунки К.1-К.4). Следовательно, можно считать, что рацион опытных животных более сбалансирован по пищевой ценности и в большей степени, чем контрольные варианты хлебопродуктов, отвечает рекомендуемым нормам потребления биологически активных веществ.

Заключение

В работе 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 нутриентно-адаптированных безглютеновых хлебопродуктов с учетом норм физиологических потребностей и медико-биологических требований, предъявляемых к продуктам для здорового питания и рациону питания лиц с заболеваниями, связанными с реакцией на глютен (аллергической энтеропатии и НГБЦ).

На основании полученных результатов исследований были сделаны следующие выводы.

1. Проведены сравнительные исследования шести зарубежных и отечественного видов 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 хлебопродуктов с заданным химическим составом для здорового питания. 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 хлебопродуктов.

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 (число падения 900 с), 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 рекомендовано внесение сухой пшеничной клейковины. Используя математическое моделирование состава рецептуры с применением композиционно униформротатабельного 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 технологии 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 безопарным 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 структурой 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, витами-

нов В₁, В₂, В₆ 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 %; Са, К, 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. Уровень обогащения позволяет отнести указанные нутриенты к функциональным пищевым ингредиентам (ГОСТ Р 52349-2005). 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».

Список литературы

1. Абдуллаева, М. С. Обоснование использования культуры киноа в качестве сырьевого ингредиента для спортивного питания / М. С. Абдуллаева, Л. А. Надточий // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. – 2016. – № 1-2. – С. 103-106.
2. Абуталыбова, Д. Э. Рынок «дикий», но перспективный / Д. Э. Абуталыбова // Кондитерская и хлебопекарная промышленность. – 2019. – Т. 78, № 1. – С. 16–17.
3. Агibalова, В. С. Обогащение хлебобулочных изделий биологически активными компонентами на основе нетрадиционного растительного сырья / В. С. Агibalова, В. И. Манжесов, Т. Н. Тертычная // Актуальные вопросы технологий производства, переработки, хранения с.-х. продукции и товароведения: материалы научно-практич. конф. проф.-препод. и аспирантского состава факультета технологии и товароведения. – Вып. 1. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2012 – С. 16-19.
4. Агibalова, В. С. Применение нетрадиционного растительного сырья в рецептуре хлеба / В. С. Агibalова, Т. Н. Тертычная, В. И. Манжесов [и др.] // Достижения науки и инновации в производстве, хранении и переработке с.-х. продукции: материалы междунар. науч.-практ. конф., посв. 80-летию Заслуж. работни-ка высшей школы РФ, проф. Ю. Г. Скрипникова (20-22 сент. 2011 г.). – г. Мичуринск-Наукоград, 2011. – С. 11-13.
5. Агibalова, В. С. Разработка научно обоснованных рецептур хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности с применением перспективных фитообогащителей: специальность 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: дисс... канд. с.-х. наук / В. С. Агibalова; Мичуринск. – Воронеж, 2016. – 189 с.
6. Азин, Д. Л. Растительные порошки и пищевая ценность хлебобулочных изделий / Д. Л. Азин, Н. Ю. Меркулова, О. В. Чугунова // Хлебопечение России. – 2000. – № 6. – С. 24-25.
7. Алёхина, Н. Н. Разработка ускоренной технологии хлеба повышенной пищевой ценности из биоактивированного зерна пшеницы: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. Н. Алёхина; Воронежская гос. технол. академия. – Воронеж, 2007. – 20 с.
8. Анализ рынка хлеба и хлебобулочных изделий в России в 2015-2019 гг., оценка влияния коронавируса и прогноз на 2020-2024 гг. – М.: BusinessStar, 2020. – 22 с.
9. Андреев, А. Н. Производство сдобных хлебобулочных изделий / А.Н. Андреев. – СПб: ГИОРД, 2003. – 480 с.

10. Апаршева, В. В. Совершенствование технологий хлебобулочных изделий, обогащенных региональными растительными ингредиентами: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: дис. ... канд. техн. наук / В. В. Апаршева; Тамбовский гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2016. – 19 с.
11. Актуальные проблемы молочного дела: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (Ставрополь, 21–23 окт. 2015 г.). – Ставрополь: Северо-Кавказский федер. ун-т, 2015. – С. 247-250.
12. Бабий, Н. В. Современные подходы к обеспечению спроса на продукцию функционального назначения пищевых предприятий Дальневосточного федерального округа: монография / Н. В. Бабий, М. В. Зинченко. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2016. – 93 с.
13. Бавыкина, И. А. Состояние минеральной плотности костной ткани у детей с непереносимостью глютена при использовании продуктов из амаранта / И. А. Бавыкина, А. А. Звягин, К. Ю. Гусев и др. // Вопросы практической педиатрии. – 2016. – Т. 11. – № 1. – С. 32-38.
14. Бавыкина И. А. Эффективность продуктов из амаранта в безглютеновом питании детей с непереносимостью глютена / И. А. Бавыкина, А. А. Звягин, Л. А. Мирошниченко // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86. – № 2. – С. 91-99.
15. Балуян, Х. А. Разработка технологий экструзионных и хлебобулочных изделий с применением экстракта гарцинии камбоджийской: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: дис. ... канд. техн. наук / Х. А. Балуян; Моск. гос. ун-т пищев. пр-в. – М., 2017. – 28 с.
16. Батурина, Н. А. Потребительские свойства и пищевая ценность пшеничного хлеба с добавками муки бобовых культур / Н. А. Батурина, Р. С. Музалевская, Л. А. Пашкевич // Вестник ОрелГИЭТ. – 2013. – № 1 (23). – С. 153-159.
17. Бахтин, Г. Ю. Разработка и товароведная характеристика хлебобулочных и мучных кондитерских изделий с нетрадиционными источниками пищевых волокон: 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г. Ю. Бахтин; Кемер. технол. ин-т пищевой пром. (ун-т). – Барнаул, 2017. – 16 с.
18. Безуглая, И. Н. Разработка технологии и рецептур пряников, обогащенных фитодобавками: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. Н. Безуглая; Куб. гос. техн. ун-т. – Краснодар, 2007. – 24 с.

19. Беленький, М. Б. Биологическая оценка продуктов животноводства и кормов с использованием тест-организма *Tetrahymena pyriformis* / М. Б. Беленький – М.: ВАСХНИЛ, 1977. – 16 с.
20. Белкин, В. Г. Современные тенденции в области разработки функциональных продуктов питания / В. Г. Белкин, Т. К. Каленик, Л. О. Коршенко // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2009. – № 1. – С. 26–29.
21. Бельмер, С. А. Непереносимость глютена и показания к безглютеновой диете / С. Бельмер, А. Хавкин // Врач. – 2011. – № 5. – С. 17–21.
22. Белявская, И. Г. Использование муки псевдозерновой культуры киноа в технологии хлебобулочных изделий / И. Г. Белявская, Т. Г. Богатырева, Т. С. Нефедова [и др.] // Хлебопечение России. – 2018. – № 2. – С. 19-24.
23. Блинникова, О. М. Проектирование и обеспечение сохраняемости поликомпонентных пищевых продуктов с заданными свойствами: диссертация ... докт. техн. наук: 05.18.15 / Блинникова Ольга Михайловна; [Место защиты: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова]. - Москва, 2021. - 48 с.
24. Богдан, А. С. Методические подходы к оценке на *Tetrahymena pyriformis* биологической ценности и безвредности пищевой продукции / А. С. Богдан, А. М. Бондарук, В. Г. Цыганков // Здоровье и окружающая среда. – 2013. – № 22. – С. 247-252.
25. Богомолова, И. П. Направления и механизмы государственного регулирования производства функциональных хлебопродуктов / И. П. Богомолова, Е. А. Белимова // Вестник ВГУИТ. – 2014. – № 2(60). – С. 177-183.
26. Болдина, А. А. Разработка технологии хлеба и безглютеновых мучных кондитерских изделий, обогащенных рисовой мукой: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. А. Болдина; Сев.-Кавказ. зон. науч.-исслед. ин-т садоводства и виноградарства. – Краснодар, 2015. – 25 с.
27. Борисов, Б. В. 2015-2019 гг продажи хрустящих хлебцев в России выросли в 3,2 раза: с 8,26 до 26,13 тыс т. / Б. В. Борисов. – URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/12093/> (дата обращения: 12.12.2020).
28. Боряев, В. Е. Функциональные продукты питания / В. Е. Боряев [и др.]; под редакцией В. И. Теплова. – Белгород: Кооперативное образование, 2005. – 415 с.
29. Бочковская, Е. Функциональный хлеб – мода или спасение нации / Е. Бочковская // Продукты и ингредиенты. – 2013. – № 6. – С. 13-15.
30. Бустинса, К. Л. С. Биохимическая характеристика культуры киноа (*Chenopodium quinoa* Willd) и ее промышленное использование: 05.18.13 «Технология консервирования

пищевых продуктов»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. Л. Бустинса; Моск. гос. заочный ин-т пищевой пром-сти. – М., 2000. – 23 с.

31. Бушкарева, А. С. Обогащение хлебобулочных изделий белками растительного и животного происхождения / А. С. Бушкарева, Т. Г. Зубарева // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – № 4(48). – С. 58-64.

32. Василькова, И. В. Медико-социальные и организационные проблемы целиакии: 14.00.33 «Общественное здоровье и здравоохранение»: автореф. дис. ... канд. мед. наук / И. В. Василькова; С.-Петерб. гос. мед. акад. им. И.И. Мечникова. – СПб, 2004. – 20 с.

33. Васнева, И. Чечевица – ценный продукт функционального питания / И. Васнева, О. Бакуменко // Хлебопродукты. – 2010. – № 11. – С. 39-40.

34. Вершинина, О. Л. Применение белково-липидной добавки из семян тыкв в производстве хлеба / О. Л. Вершинина, И. В. Шульвинская, Е. С. Милованова [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 1. – С. 37-39.

35. Веселова, А. Ю. Разработка технологии специализированных хлебобулочных изделий с использованием природных источников биологически активных веществ: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Ю. Веселова; Моск. гос. ун-т пищевых пр-в. – Москва, 2015. – 22 с.

36. Ветохин, С. С. Определение активности воды молочных продуктов / С. С. Ветохин, И. В. Подорожня, И. В. Ненартович // Труды БГТУ. - Минск: БГТУ, 2012. – № 4 (151). – С. 25-28.

37. Вишняк, М. Н. Разработка и оценка потребительских свойств безглютеновых мучных кондитерских изделий: 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. Н. Вишняк; Кемер. технол. ин-т пищевой пр-ти (ун-т). – Кемерово, 2011. – 24 с.

38. Власова, М. В. Формирование потребительских свойств и повышение сохраняемости хлеба из пшеничной муки, обогащённой грибными порошками: 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.В. Власова; Рос. экон. ун-т им. Г.В. Плеханова. – М., 2011. – 25 с.

39. Воронина, М. С. Совершенствование рецептур и оптимизация технологий тортов и пирожных с применением натуральных антиокислителей из продуктов переработки плодов и ягод: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур,

крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. С. Воронина; Куб. гос. техн. ун-т. – Самара, 2017. – 24 с.

40. Вохмянина, Н. В. Алгоритм лабораторного мониторинга больных целиакией: 14.00.46 «Клиническая лабораторная диагностика»: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Н. В. Вохмянина; С.-Петерб. гос. учреждение здравоохранения Диагност. центр (мед.-генет.)]. - СПб., 2002. - 19 с.

41. Вохмянина, Н. В. Лабораторная диагностика целиакии: принципы и алгоритмы: автореферат дис. ... доктора медицинских наук : 14.03.10 / Н. В. Вохмянина; Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России]. - Санкт-Петербург, 2016. - 41 с.

42. Гаврилова, О. М. Влияние гречневой муки на качество хлеба из пшеничной муки высшего сорта / О. Гаврилова, И. Матвеева, Е. Толмачев // Хлебопродукты. – 2007. – № 2. – С. 36-37.

43. Гаврилова, О. М. Разработка технологии хлебобулочных изделий с применением гречневой муки: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. М. Гаврилова; Моск. гос. ун-т пищевых пр-в. – М., 2008. – 26 с.

44. Гартман Т. Н. Основы компьютерного моделирования химико–технологических процессов / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 416 с.

45. Горшков, В. В. Использование гидродинамической кавитации для обработки пшеницы при производстве хлеба // Инновационный потенциал аграрной науки – основа развития АПК: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию с.-х. образования на Урале (Пермь, 21 нояб. 2008 г.). – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2008. – Ч. 1. – С. 108-111.

46. Горшков, В. В. Обработка зерна гидродинамической кавитацией при производстве хлеба // Инновационные процессы в АПК: Сб. науч. тр. – М.: РУДН, 2009. – С. 238-241.

47. Горшков, В. В. Эффективность обработки зерна гидродинамической кавитацией при производстве хлеба (статья) / В. В. Горшков, А. С. Покутнев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 12 (38). – С. 49-51.

48. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорты растений (Официальное издание). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – С. 25.

49. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования эксперимента / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.

50. Давидович, Е. А. Оценка возможности использования гороховой шелухи для обогащения экструдированных продуктов из кукурузной муки пищевыми волокнами (Польша) / Е. А. Давидович // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2006. – № 3. – С. 872.
51. Дерканосов, Н. И. Разработка и оценка потребительских свойств хлебобулочных изделий обогащенных яконом: 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания»: автореф. дис. ...канд. тех. наук / Н. И. Дерканосов; Гос. ун-т – уч.-науч.-произв. компл. – Орел, 2011. – 22 с.
52. Дерканосова, Н. М. Влияние порошкообразного полуфабриката цикория на потребительские свойства хлеба / Н. М. Дерканосова, С. В. Шелмова, О. А. Василенко [и др.] // Технология и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2015. – № 2. – С. 7–11.
53. Дерканосова, Н. М. Обоснование направлений перспективных исследований повышения потребительских свойств хлебобулочных изделий / Н. М. Дерканосова, И. Н. Пономарева, А. А. Стахурлова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (48). – С. 142-147.
54. Дерканосова, Н. М. Товароведение и экспертиза хлебобулочных и макаронных изделий: учебное пособие / Н. М. Дерканосова, В. И. Котарев, Н. А. Каширина. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский ГАУ им. Имп. Петра I», 2013. – 279 с.
55. Джабоева, А. С. Создание технологии хлебобулочных, мучных кондитерских и кулинарных изделий повышенной пищевой ценности с использованием нетрадиционного растительного сырья: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства», 05.18.15 «Товароведение пищевых продуктов и технология продуктов общественного питания»: автореф. дис. ... докт. техн. наук / А. С. Джабоева; Моск. гос. ун-т пищевых пр-в. – М., 2009. – 49 с.
56. Диксит, А. Адаптация к изменению климата: увеличение производства квиноа с использованием ядерных методов // Бюллетень МАГАТЭ. – 2015. – Июнь. – С. 10-11.
57. Долгов, В. А. Автоматизированный метод оценки токсичности продовольственного сырья и кормов, объектов окружающей среды на инфузориях *Pramesium caudatum* и *Tetrahymena rufiformis* / В. А. Долгов, С. А. Лавина, Е. Г. Черемных [и др.]. – М.: РАСХН, 2009. – 16 с.
58. Дробот, В. И. Использование нетрадиционного сырья в хлебопекарной промышленности / В. И. Дробот. – Киев: Урожай, 1988 – 152 с.
59. Евдокимова, О. В. Методология создания и продвижения на потребительский рынок функциональных пищевых продуктов: 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых

продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания»: автореф. дис. ... докт. техн. наук / О. В. Евдокимова; Куб. гос. техн. ун-т. – Краснодар, 2011. – 41 с.

60. Евдокимова, А. С. Разработка рецептуры хлебобулочных изделий из пшеничной муки с нетрадиционным высокобелковым сырьем / А. С. Евдокимова, Е. В. Невская // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 69. – С. 465-473.

61. Егорова, С. В. Киноа - растительный продукт будущего / С. В. Егорова, Е. М. Утюшева, М. М. Козлетинова, Р. С. Ростегаев // Advanced science: сб. статей III Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. (Пенза, 23 апр. 2018 г.). – Пенза: «Наука и Просвещение», 2018. – С. 138-141.

62. Елисеева, Л. Г. Изучение биологической ценности крупы киноа различных торговых марок / Л. Г. Елисеева, Е. В. Жиркова, Т. Н. Иванова, Д. С. Кокорина // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2019. – № 5(58). – С. 81-86.

63. Елисеева, Л. Г. Характеристика потребительских преимуществ и конкурентоспособности белковых препаратов люпина / Л. Г. Елисеева, А. В. Рыжакова, И. А. Махотина, Ю. Д. Белкин // Товаровед продовольственных товаров. – 2012. – № 2. – С. 19-20.

64. Елисеева, Л. Г. Характеристика потребительских свойств хлеба из пшеничной муки, обогащенного функциональными ингредиентами муки киноа / Л. Г. Елисеева, Д. С. Кокорина, Е. В. Невская [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2020. – № 3 (62). – С. 67-74.

65. Елисеева, Л. Г. Формирование показателей качества и пищевой ценности пшеничного хлеба с применением муки киноа / Л. Г. Елисеева, Е. В. Жиркова, Д. С. Кокорина // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – № 2-3 (368-369). – С. 35-38.

66. Жамукова, Ж. М. Разработка технологии хлебобулочных изделий функционального назначения с использованием биофлавоноидов зеленого чая: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ж. М. Жамукова; Моск. гос. ун-т пищевых пр-в. – М., 2006. – 26 с.

67. Жаркова, И. М. Амарант: научно-практические аспекты применения в пищевой промышленности: моногр. / И. М. Жаркова. – Воронеж, 2016. – 197 с.

68. Жаркова, И. М. Амарантовая мука: характеристика, сравнительный анализ, возможности применения / И. М. Жаркова, Л. А. Мирошниченко, А. А. Звягин, И. А. Бавыкина // Вопросы питания. – 2014. – Т. 83. – № 1. – С. 67-73.
69. Жиркова, Е. В. Исследование биодоступности пищевых веществ хлеба из пшеничной муки с добавлением овощных порошков / Е. В. Жиркова, И. Б. Леонова, Т. И. Крячко [и др.] // Хлебопродукты. – 2019. – № 7. – С. 42-45.
70. Завалишина, К. Н. Чечевичная мука как основа при разработке пищевых концентратов функционального назначения / К. Н. Завалишина, О. В. Евдокимова, О. В. Евдокимова // Технологии производства пищевых продуктов питания и экспертиза товаров: сб. науч. статей материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Курск, 02–03 апр. 2015 г.) / отв. ред.: А. А. Горохов. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2015. – С. 72-74.
71. Звягин, А. А. Потенциальные возможности амарантовой муки как безглютенового продукта / А. А. Звягин, И. А. Бавыкина, И. М. Жаркова, Л. А. Мирошниченко // Вопросы детской диетологии. – 2015. – Т. 13. – № 2. – С. 46-51.
72. Зеленков, В. Н. Суммарная антиоксидантная активность. Методика выполнения измерений на кулонометрическом анализаторе. МВИ-01-00669068-13 / В. Н. Зеленков, А. А. Лапин. – ВНИИ овощеводства: Верей, 2013. – 19 с.
73. Игнатъев, А. Д. Модификация метода биологической оценки пищевых продуктов с помощью ресничной инфузории тетрахимена пириформис / А. Д. Игнатъев, М. К. Исаев, В. А. Долгов [и др.] // Вопр. питания. – 1980. – № 1. – С. 70-71.
74. Инновационные технологии в пищевой и перерабатывающей промышленности: сб. материалов I Междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 20–22 нояб. 2012 г.). – Краснодар: Кубанский ГТУ, 2012. – 880 с.
75. Инструкция по предупреждению картофельной болезни хлеба на хлебопекарных предприятиях. – М.: ГНУ ГосНИИХП, 2012. – 32 с.
76. Иунихина, Е. В. Совершенствование технологии хлебобулочных изделий для здорового питания на основе применения нетрадиционного сырья: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: дис. ... канд. техн. наук / Е. В. Иунихина; Моск. гос. ун-т пищевых пр-в. – М., 2015. – 187 с.
77. Кабалоева, А. С. Разработка технологий булочных и мучных кондитерских изделий профилактического назначения с использованием продуктов переработки плодов дикорастущего боярышника: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства», 05.18.15 «Товароведение пищевых продуктов и технология продуктов общественного питания»:

автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. С. Кабалоева; Куб. гос. техн. ун-т. – Краснодар, 2012. – 24 с.

78. Капустина, К. Ф. Разработка технологии безглютеновых хлебобулочных изделий с использованием пищевкусовой добавки из мяты перечной / К. Ф. Капустина // Молодой учёный. – 2020. – № 24 (314). – С. 99-104.

79. Касьянов, Г. И. Оценка аминокислотной сбалансированности продуктов питания / Г. И. Касьянов, Б. В. Артемьев, А. В. Козмава // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1998. – № 5-6 (246-247). – С. 39-42.

80. Кацнельсон, Ю. Российские цены на хлеб в 2019-2020 годах. Исследования Российской Гильдии пекарей и кондитеров: сайт / Ю. Кацнельсон, С. Литовченко. – URL: <https://foodmarket.spb.ru/archive.php?year=2021&number=186&article=2773> (дата обращения: 12.10.2020).

81. Киселев, В. М. Эволюционная методология проектирования функциональных продуктов питания / В. М. Киселев, Е. Г. Першина // Пищевая промышленность, 2009. – № 11. – С. 57-59.

82. Кокорина, Д. С. Многокритериальная оценка разрабатываемых специализированных пищевых продуктов / Д. С. Кокорина, Л. Г. Елисеева, Н. М. Портнов // Новые информационные технологии в образовании : Сборник научных трудов 20-й международной научно-практической конференции, Москва, 04–05 февраля 2020 года / Под общей редакцией Д.В. Чистова. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ИС-Публишинг", 2020. – С. 567-575.

83. Ковтунов, В. В. Основные направления использования сорго зернового / В. В. Ковтунов, С. И. Горпиниченко // Зерновое хозяйство России. – 2011. – № 1. – С. 10-15.

84. Конева, С. И. Хлебопекарные свойства смеси пшеничной и льняной муки / С. И. Конева // Вестник алтайской науки. – 2015. – № 1 (23). – С. 398-401.

85. Корсакова, А. И. Развитие рынка безглютеновых хлебопекарных продуктов / А. И. Корсакова, В. А. Климов // Дельта науки. – 2019. – № 2. – С. 60-63.

86. Корчагин, В. И. Перспективные обогатители растительного происхождения в производстве хлебобулочных изделий / В. И. Корчагин, Г. О. Магомедов, Н. М. Дерканосова. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2001. – 161 с.

87. Коршенко, Л. О. Разработка ассортимента полуфабрикатов мучных изделий и их товароведная характеристика / Л. О. Коршенко, О. Г. Чижикова, О. С. Шагулина // Вестник Сибирского университета потребительской кооперации. – 2019. – № 1 (27). – С. 74-77.

88. Корячкина, С. Я. Технология хлеба из целого зерна тритикале: моногр. / С. Я. Корячкина, Е. А. Кузнецова, Л. В. Черепнина. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – С. 28.
89. Корячкина, С.Я. Функциональные пищевые ингредиенты и добавки для хлебобулочных и кондитерских изделий / С. Я. Корячкина, Т. В. Матвеева. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2013. – 528 с.
90. Красина, И. Б. Безглютеновые хлебцы с использованием нетрадиционных видов сырья / И. Б. Красина, Н. К. Данович, О. И. Казьмина // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-8. – С. 1626-1631.
91. Кретович, В. Л. Биохимия зерна / В. Л. Кретович. – М.: Наука, 1981. – 151 с.
92. Кретович, В. Л. Биохимия зерна и хлеба / В. Л. Кретович. – М.: Наука, 1991. – 130 с.
93. Кретович, В. Л. Проблема пищевой полноценности хлеба / В. Л. Кретович, Р. Р. Токарева. – М: Наука, 1978. – 288 с.
94. Кристалева, О. Н. Целиакия у взрослых - современные подходы к диагностике и лечению / О. Н. Кристалева, М. Г. Мельник // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2010. – Т. 94. – № 3. – С. 121-123.
95. Крумс, Л. М. Наш опыт диагностики болезней тонкой кишки / Л. М. Крумс, А. И. Парфенов, Е. А. Сабельникова и др. // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2008. – № 1. – С. 72-78.
96. Крупнов, В. А. Производство киноа в Перу / В. А. Крупнов // Успехи современной науки. 2017. – Т. 2. – № 5. – С. 147-150.
97. Кулакова, Ю. А. Применение семян нута в технологии хлебобулочных изделий улучшенной биологической ценности: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис... канд. техн. наук / Ю. А. Кулакова; Воронеж. гос. тех. акад. – Воронеж, 2005. – 23 с.
98. Лапин, А. А. Определение антиоксидантной активности вин кулонометрическим методом : научно-методическое пособие / Лапин А. А. [и др.] ; Российская акад. естественных наук, Отд-ние "Физ.-хим. биология и инновации". - Москва : Изд. Российской акад. естественных наук, 2009. - 63 с.
99. Лейберова, Н. В. Разработка рецептур и оценка качества безглютеновых мучных кондитерских изделий: 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания»: автореф.

дис... канд. техн. наук / Н. В. Лейберова; Кемер. технол. ин-т пищевой пр-ти. – Кемерово, 2012. – 21 с.

100. Лесникова, Н. А. Перспективы применения нетрадиционного растительного сырья для создания новых продуктов питания / Н. А. Лесникова, Л. А. Кокорева, Г. Б. Пищиков [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – Т. 81. – № 4 (82). – С. 89-97.

101. Липатов, Н. Н. Методологические аспекты оптимизации качества поликомпонентных продуктов детского питания нового поколения (в свете пищевой комбинаторики) / Н. Н. Липатов, О. И. Башкиров, Е. Н. Ковалева [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 6. – С. 6-8.

102. Липатов, Н. Н. Принципы и методы проектирования рецептур пищевых продуктов, балансирующих рационы питания / Н. Н. Липатов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1990. – № 6 (199). – С. 5-10.

103. Лисин, П. А. Композиционное проектирование поликомпонентных продуктов питания / П. А. Лисин, Е. А. Молибога, Т. Д. Воронова [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 12 (118). – С. 42-46.

104. Лисин, П. А. Критериальная оценка сбалансированности продуктов питания / П. А. Лисин, Н. Л. Чернопольская, И. В. Давиденко // Современные достижения биотехнологии. Актуальные проблемы молочного дела: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Ставрополь: Сев.-Кавказ. фед. ун-т, 2015. – С. 247-250.

105. Луфт В. М. Справочник по клиническому питанию / В. М. Луфт, А. В. Лапицкий, А. М. Сергеева. – СПб.: ООО «РА Русский Ювелир», 2018. – 368 с.

106. Магомедов, Г. О. Технология хлебобулочных изделий с применением механического способа разрыхления теста / Г. О. Магомедов, Е. И. Пономарева, Т. Н. Межова [и др.] – Воронеж: ВГУИТ, 2012. – С. 80.

107. Максимов А. С. Лабораторный практикум по реологии сырья, полуфабрикатов и готовых изделий хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств. / А. С. Максимов, В. Я. Черных. – М.: Издательский комплекс МГУПП, 2004 – с. 163.

108. Максимов А. С. Реология пищевых продуктов : лабораторный практикум : учебник / Максимов А. С., Черных В. Я. - Санкт-Петербург : ГИОРД, 2006 (СПб. : ИПК Бионт). - 171 с.

109. Малюкова, И. А. Анализ социальных, технологических и экономических аспектов производства безглютеновой продукции / И. А. Малюкова, Ю. И. Слепокурова, И. М. Жаркова // Sciences of Europe. – 2019. – № 36. – С. 3-7.

110. Матвеева, Т. В. Влияние кукурузной и рисовой муки на качество изделий из бисквитного теста / Т. В. Матвеева, С. Я. Корячкина, В. П. Корячкин, Е. И. Стручкова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2008. – № 4 (305). – С. 32-34.
111. Матвеева, И. Перспективные виды сырья для производства безглютеновых изделий / И. Матвеева, В. Нестеренко // Хлебопродукты. – 2011. – № 8. – С. 42-44.
112. Машкин, Д. В. Разработка технологии заквасок для предупреждения микробиологической порчи хлебобулочных изделий : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.18.07 / С.-Петерб. гос. ун-т низкотемператур. и пищевых технологий. - Санкт-Петербург, 2006. - 16 с.
113. Маюрникова, Л. А. Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности / Л. А. Маюрникова, А. А. Кокшаров, Т. В. Крапива [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – Т. 50. – № 1. – С. 124–139. – DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-124-139>.
114. Международный год киноа – 2013 / Food and Agriculture Organization of the United Nations: офиц. сайт. – URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 12.10.2020).
115. Международный конгресс «Лечебно-профилактическое и функциональное хлебопечение». «Хлеб – это здоровье» // Хлебопродукты. – 2018. – № 8. – С. 15.
116. Мезенова, О. Я. Проектирование поликомпонентных пищевых продуктов: учебное пособие для вузов / О. Я. Мезенова. – СПб.: Проспект Науки, 2015. – 224 с.
117. Меняйло, Л. Н. Научные основы формирования ассортимента пищевых продуктов с заданными свойствами. Технологии получения и переработки растительного сырья : монография / Л. Н. Меняйло [и др.]. – Красноярск: СФУ, 2015. – 212 с. – URL: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=550153> (дата обращения 18.01.2021).
118. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента : Учебное пособие / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, Л.А. Зайнуллин, А.Р. Бондин, А.А. Бурыкин; Под общ. ред. Н.А. Спирина. — Екатеринбург: ООО «УИНЦ», 2015. — 290 с.
119. Мусина, О. Н. Системное моделирование многокомпонентных продуктов питания / О. Н. Мусина, П. А. Лисин // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 4 (27). – С. 32–37.
120. Мысаков, Д. С. Разработка и товароведная оценка безглютенового бисквитного полуфабриката: 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания»: автореф. дис... канд. техн. наук / Д. С. Мысаков; Ур. гос. эконом. ун-т. – Екатеринбург, 2016. – 18 с.
121. Назаров, Н. Г. Измерение: планирование и обработка результатов / Н. Г. Назаров. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 304 с.

122. Наумова, Н. Л. Функциональные и обогащенные продукты питания, содержащие минеральные вещества и витамины / Н. Л. Наумова, М. В. Козубцев // Инновационные технологии пищевых продуктов и оценка их качества: наука, образование, производство : материалы I Междунар. науч.-техн. конф. (заочной) (Улан-Удэ, 15 июня 2016 г.). – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2016. – С. 28-33.

123. Невская, Е. В. Разработка рецептур и технологий хлебобулочных изделий специализированного и функционального назначения на основе продуктов переработки крупяных культур / Е. В. Невская, Л. А. Шлеленко, О. Е. Тюрина [и др.] // Хранение и переработка зерна. – 2014. – Т. 180. – № 3. – С. 36-38.

124. Нестеренко, В. В. Разработка технологии сахарного безглютенового печенья: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис... канд. техн. наук / В. В. Нестеренко; Моск. гос. ун-т пищевых пр-в. – М., 2013. – 27 с.

125. Никитин, И. А. Тренды рынка и новые разработки безглютеновой продукции / И. А. Никитин, Д. А. Велина, Ш. Мугалибзода, В. С. Белова // Хлебопродукты. – 2021. – № 3. – С. 21-25.

126. Никулина, Е. Облепиховый шрот для хлебобулочных и макаронных изделий / Е. Никулина, Г. Иванова // Хлебопродукты. – 2006. – № 5. – С. 40-42.

127. Нилова, Л. П. Товароведение и экспертиза зерномучных товаров / Л. П. Нилова. – СПб: ГИОРД, 2005. – 416 с.

128. Новикова, Д. О. Перспективы использование киноа в хлебопекарном производстве / Д. О. Новикова, Т. С. Нефедова, И. Г. Белявская // Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука, Москва, 11–12 апреля 2017 года. – Москва: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет пищевых производств", 2017. – С. 69-74.

129. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 36 с.

130. Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки: постановление Президиума РАН от 27.11.2018 г. № 178. URL: <http://www.consultant.ru/online/raspisanie/> (дата обращения 28.07.2020).

131. Обогащенные пищевые продукты : разработка технологий обеспечения потребительских свойств: коллект. моногр. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – 215 с.

132. О мерах по профилактике заболеваний, обусловленных дефицитом микронутриентов, развитию производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения: постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 14.06.2013 г. № 31. URL: <https://base.garant.ru/70451504/> (дата обращения: 29.07.2020).

133. Определение деформационных характеристик мякиша хлеба: Методика СТ-2-05. URL: <https://strukturoometr.ru/files/metodika-ST-2-05.pdf> (дата обращения: 18.01.2021).

134. Осенева, О. В. Оценка потребительских свойств обогащенных хлебобулочных изделий с использованием функциональных пищевых ингредиентов / О. В. Осенева, И. П. Щетилина, И. Х. Бердыев // RJOAS. – 2017. – № 6 (66). – С. 380-388.

135. Османьян, Р. Г. Сухая пшеничная клейковина – эффективная добавка для повышения качества муки и хлебобулочных изделий / Р. Г. Османьян // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2007. – № 2. – С. 466.

136. О состоянии заболеваемости, обусловленной дефицитом микронутриентов: письмо руководителям управлений Роспотребнадзора по субъектам Российской Федерации, по железнодорожному транспорту от 12.11.2008 г. № 1/12925-8-32. - Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; рук. Г. Г. Онищенко. – М., 2008.

137. Паньковский, Г. А. Влияние сухой пшеничной клейковины на хлебопекарные свойства муки / Г. А. Паньковский // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2005. – № 1. – С. 83.

138. Паньковский, Г. А. Контроль свойств сухой пшеничной клейковины / Г. А. Паньковский // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2004. – № 1. – С. 89.

139. Парахина, О. И. Совершенствование технологии и ассортимента безглютенового хлеба с применением растительных ингредиентов и заквашенного полуфабриката: 05.18.07 «Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ»: автореф. дис... канд. техн. наук / О. И. Парахина; С.-Петерб. нац. исслед. ун-т инф. техн., механ. и оптики. – СПб, 2015. – 16 с.

140. Пат. № 2167529, RU, МКИ7 А21D 8/02, 13/02. Способ производства диетического хлеба: заявл. 21.04.1999; опубл. 27.05.2001 Бюл. № 15 / В. К. Кокин, Т. Н. Тертычная, В. Е. Шевченко, В. И. Манжесов. – 4 с.

141. Пат. № 2305941, RU; МПК А21D 2/36, А21D 8/02. Способ производства хлеба «Амарантовый»: заявл. 09.03.2006; опубл. 20.09.2007 Бюл. № 26 / С. В. Кадыров, Н. М. Дерканосова, Т. Н. Тертычная, А. В. Стуруа. – 4 с.

142. Пащенко, Л. П. Нетрадиционные белоксодержащие ингредиенты в технологии хлеба (Химический и аминокислотный состав фасоловой муки) / Л. П. Пащенко, Ю. Н. Рябикина, С. Н. Чеснокова // Нетрадиционные и редкие растения, природные соединения и перспективы их использования / Всероссийский научно-исследовательский институт семеноводства и селекции овощных культур РАСХН – Белгород, 2006. – Т 2. – С. 465-468.
143. Петрова, Н. Хлеб – это здоровье / Н. Петрова // Хлебопродукты. – 2016. – № 2. – С. 67.
144. Петыш, Я. С. Вкусно и полезно – тенденции рынка мучных кондитерских изделий / Я. С. Петыш // Хлебопродукты. – 2018. – № 1. – С. 64-67.
145. Позняковский, В. М. Безопасность продовольственных товаров (с основами нутрициологии): учебник / В. М. Позняковский. – М.: Инфра-М, 2015. – 271с. – URL: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=460795> (дата обращения: 15.01.2021).
146. Покровский, А. А. Беседы о питании / А. А. Покровский – М.: Экономика, 1986. – 367 с.
147. Портнов, Н. М. База данных нутриентов продуктов – URL: http://www.1cp.ru/sr27/ar_sr27.pdf (дата обращения: 07.10.2020).
148. Порядок проведения исследований эффективности специализированной диетической лечебной и диетической профилактической пищевой продукции: методические указания: письмо Минздрава России от 01.09.2016. - № 28-1/2460. – М., 2016. – 31 с.
149. Пospelова, Е. С. Использование йодказеина в приготовлении хлеба / Е. С. Пospelова, В. В. Горшков // Молодые учёные – сельскому хозяйству Алтая: сб. науч. тр. – Барнаул, 2011. – Вып. 5. – С. 141-143.
150. Прибор «Структурометр» СТ-1: Техническое описание, инструкция по эксплуатации, паспорт. – М.: Фирма «Алейрон». Научно-производственная фирма «Радиус», 1997. – 32 с.
151. Продовольственный прогноз (конъюнктурные сводки). – URL: <http://www.fao.org/giews/> (дата обращения: 06.10.2020).
152. Пучкова, Л. И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства / Л. И. Пучкова. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 264 с.
153. Пырьева, Е. А. Киноа – новый вид растительного сырья для производства продуктов питания для детей раннего возраста / Е. А. Пырьева, М. А. Гурченкова, Е. А. Нетунаева [и др.] // Вопросы детской диетологии. – 2019. – Т. 17. – № 4. – С. 24-32.
154. Ревна, М. О. Целиакия у детей: клинические проявления, диагностика, эффективность безглютеновой диеты: 14.00.09 «Педиатрия»: автореф. дис. ... докт. мед. наук / М. О. Ревна; С.-Петерб. гос. педиатр. мед. акад. – СПб., 2005. – 39 с.

155. Романов, А. С. Экспертиза хлеба и хлебобулочных изделий. Качество и безопасность: Учеб.-справ. пособ / А. С. Романов, Н. И. Давыденко, Л. Н. Шатнюк и др.; под общ. ред. В. М. Позняковского. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2005. – 278 с.
156. Росляков, Ю. Ф. Инновационные ингредиенты в технологии хлебопечения / Ю. Ф. Росляков, О. Л. Вершинина, В. В. Гончар // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 98. – С. 480-515.
157. Руководство по клиническому питанию / В. М. Луфт, В. С. Афончиков, А. В. Дмитриев [и др.]; под редакцией проф. В. М. Луфта. – СПб: Арт-Экспресс, 2016. – 492 с.
158. Руководство по методам контроля и безопасности биологически активных добавок к пище - М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 240 с.
159. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / ФГБУ «НЦЭСМП» Минздравсоцразвития России. – Москва : Гриф и К, 2012. – 944 с.
160. Рынок безглютеновой продукции // Пищевая индустрия. – 2017. – Т. 31. - № 1. – С. 8-10.
161. Самченко, О. Н. Разработка и оценка потребительских свойств продуктов питания с использованием йодсодержащего растительного сырья: 05.18.15 «Товароведение пищевых продуктов и технология продуктов общественного питания»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. Н. Самченко; Тихоок. гос. экон. ун-т. – Владивосток, 2007. – 24 с.
162. Сборник современных технологий хлебобулочных изделий / Российская акад. с.-х. наук ; Гос. науч. учреждение Гос. науч.-исслед. ин-т хлебопекарной пром-сти ; под общ. ред. А. П. Косована. - Москва : ГНУ ГОСНИИ хлебопекарной пром-сти, 2008. - 268 с.
163. Сборник технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий: Утв. М-вом хлебопродуктов СССР 07.07.88. – М.: Прейскурантиздат, 1989. – с. 493.
164. Сборник рецептов и технологических инструкций по приготовлению хлебобулочных изделий для профилактического и лечебного питания / Гос. науч.-исслед. ин-т хлебопек. пром-сти (ГОСНИИХП); [Принимали участие: А. П. Косован [и др.]. – М.: Пищепромиздат, 2004. – 250 с.
165. Сборник рецептов и технологических инструкций по приготовлению диетических и профилактических сортов хлебобулочных изделий. – М.: Пищепромиздат, 1997. – 191 с.
166. Скурихин, И. М. Все о пище с точки зрения химика: справ. издание / И. М. Скурихин, А. П. Нечаев. – М.: Высш.шк., 1991. – 288 с.
167. Скурихин, И. М. Химический состав и калорийность российских пищевых продуктов / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян. – М.: ДеЛиПринт, 2008. – 236 с.

168. Смертина, Е. С. Хлебобулочные изделия с добавкой из бурых водорослей / Е. С. Смертина, Т. К. Каленик, Л. Н. Федянина [и др.] // Пищевая промышленность. – 2009. – № 12. – С. 66-67.
169. Смирнова, Т. А. Обогащение затычного печенья сухой смесью протеина для повышения пищевой ценности продукта / Т. А. Смирнова // Научные исследования: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. науч. тр. – Казань: Издательство "Познание", 2018. – С. 25-29.
170. Сокол, Н. В. Биологическая и пищевая ценность хлеба с пектином из муки сорта веда / Н. В. Сокол // Новые технологии. – 2009. – № 4. – С. 49-52.
171. Спиричев, В. Б. Обогащение пищевых продуктов микронутриентами: научные принципы и практические решения / В. Б. Спиричев, Л. Н. Шатнюк // Пищевая промышленность. – 2010. – № 4. – С. 20-24.
172. СТП 5-08. Методика определения водоудерживающей способности полидисперсных растительных порошков. – М.: ФГАНУ НИИХП, Центр реологии пищевых сред, 2017. – 6 с.
173. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.06.2016 г. № 1364-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/9JUDtB0pqrmoAatAhtV2wJ8UPT5Wq8qIo.pdf> (дата обращения: 02.09.2020).
174. Ставицкий, В.Б. Диетическое питание больных сахарным диабетом: советы диетолога / В. Б. Ставицкий. - Ростов на Д: Феникс, 2008.– 156 с.
175. Тайбосынова, А. Е. Разработка технологии хлебобулочной продукции диабетического значения и изучение ее качественных показателей / А. Е. Тайбосынова, М. Т. Велямов // Новости науки Казахстана. – 2017. – № 4 (134). – С. 90-110.
176. Тамазова, С. Ю. Пищевые добавки на основе растительного сырья, применяемые в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий / С. Ю. Тамазова, В. В. Лисовой, Т. В. Першакова, М. А. Казимирова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 122. – С. 1099-1116.
177. Темникова, О. Е. Обзор использования нетрадиционного сырья в хлебопечении / О. Е. Темникова, Н. А. Егорцев, А. В. Зимичев // Хлебопродукты. – 2012. – № 4. – С. 54-55.
178. Тертычная, Т. Н. Применение нетрадиционного растительного сырья в рецептуре хлеба / Т. Н. Тертычная, В. И. Манжесов, В. С. Агибалова, Е. Е. Курчаева // Современные технологии производства продуктов питания: состояние, проблемы и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. ф-та биотехн., товаров. и экспертизы товаров.

посвященные 170-летию со дня основания Донского ГАУ. – пос. Персиановский, 2010. – С. 43-45.

179. Тертычная, Т. Н. Изучение особенностей углеводно-амилазного и белково-протеиназного комплексов тритикалевой муки с обогатителями / Т. Н. Тертычная, В. С. Агибалова // Хранение и переработка зерна. – 2010. – № 2 (128). – С. 62-64.

180. Тертычная, Т. Н. Определение рациональных параметров приготовления бисквита на основе тритикалевой муки / Т. Н. Тертычная // Хлебопродукты. – 2010. – № 7. – С. 31-33.

181. Тертычная, Т. Н. Тритикале в ЦЧР: перспективы выращивания и применения / Т. Н. Тертычная, В. И. Манжесов, А. М. Жуков – Воронеж: ВГАУ, 2009. – 248 с.

182. Техника сбора и транспортирования биоматериалов в микробиологические лаборатории: Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 126 с.

183. Технология функциональных продуктов питания: учеб. пособ. для СПО / под общ. ред. Л. В. Донченко. – М.: Изд-во Юрайт, 2018. – 176 с.

184. Ткаченко, Е. И. Современные подходы и перспективы в лечении целиакии / Е. И. Ткаченко, Л. С. Орешко, Е. Б. Авалуева [и др.] // ФАРМиндекс-Практик. – 2005. – № 9. – С. 44 – 48.

185. Трубицына, И. Е. Моделирование повреждений слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта у крыс / И. Е. Трубицына [и др.] // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2011. – № 2. – С. 117-120.

186. Тутельян, В. А. Анализ нормативно-методической базы в сфере специализированной пищевой продукции в Российской Федерации / В. А. Тутельян, Н. В. Жилинская, В. А. Саркисян, А. А. Кочеткова // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86. – № 6. – С. 29-35.

187. Тутельян, В. А. Микронутриенты в питании здорового и больного человека / В. А. Тутельян, В. Б. Спиричев, Б. П. Суханов, В. А. Кудашева. – Москва: Изд-во «Колос», 2002. – 424 с.

188. Тутельян, В. А. Пищевые ингредиенты в создании современных продуктов питания; под ред. В. А. Тутельяна, А. П. Нечаева. – М.: ДеЛи плюс, 2014. – 520 с.

189. Тутельян, В. А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания / В. А. Тутельян; В. А. Тутельян. – М.: ДеЛи плюс, 2012. – 283 с.

190. Тырлова, О. Ю. Разработка технологии безглютеновых полуфабрикатов в тесте с использованием полуобезжиренной льняной муки: 05.18.07 - Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. Ю. Тырлова; С.-Петерб. нац. исслед. ун-т. – СПб, 2018. – 16 с.

191. Тюрина, И. А. Разработка технологий хлебобулочных изделий нутриентно-адаптированных для геродиетического питания: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис... канд. техн. наук / И. А. Тюрина; Куб. гос. техн. ун-т. – М., 2017. – 22 с.

192. Уажанова, Р. У. Амарант – продовольственная культура: происхождение, систематика, морфология, физиология, интродукция, возделывание, химический состав, сушка, хранение, переработка, применение: монография / Р. У. Уажанова, Ю. Ф. Росляков, И. М. Жаркова [и др.]. – Краснодар, 2016. – 346 с.

193. Умирзакова, Г. А. Исследование гранулометрического состава и цвета муки, используемой для производства функциональных макаронных изделий / Г. А. Умирзакова, В. Я. Черных, Г. К. Исакова, К. А. Сарбашев // Вестник Алматинского технологического университета. – 2016. – № 4. – С. 71-76.

194. Урлапова, И. Б. Влияние гранулометрического состава на качество пшеничной хлебопекарной муки: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: дис... канд. техн. наук / И. Б. Урлапова. – М., 2004. – 235 с.

195. Федеральные клинические рекомендации по оказанию медицинской помощи детям с целиакией. – М., 2015. – 22 с.

196. Функциональные продукты питания / В. И. Теплов, В. Е. Боряев, Н. М. Белецкая [и др.]. – М.: А-Приор, 2008. – 240 с.

197. Химический состав мяса. Справочные таблицы общего химического, аминокислотного, жирнокислотного, витаминного, макро- и микроэлементного состава и пищевой (энергетической и биологической) ценности мяса / А. Б. Лисицын, А. М. Чернуха, Т. Г. Кузнецова [и др.]. – М.: ВНИИМП, 2011. – 104 с.

198. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. член-корр. МОИ, проф. И. М. Скурихина и акад. РАМН, проф. В. А. Тутельяна. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

199. Химический справочник пищевых продуктов: Книга 1: Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / под ред. проф., д-ра техн. наук И. М. Скурихина, проф., д-ра мед. наук М. Н. Волгарева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ВО «Астропромиздат», 1987. – 224 с.

200. Химический состав и энергетическая ценность пищевых продуктов: справочник МакКансаи Уиддоусона / пер. с англ. под общ. ред. д-ра мед. наук А. К. Батурина. – СПб.: Профессия, 2006. – 416 с.

201. Цалоева, М. Р. Витаминно-минеральный премикс для хлебобулочных изделий профилактического назначения / М. Р. Цалоева, Г. Г. Дубцов, А. Р. Богданов [и др.] // Вопросы диетологии. – 2013. – Т. 3. – № 3. – С. 29-31.
202. Цыганова, Т. Б. Технология и организация производства хлебобулочных изделий. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2008. – 448 с.
203. Цыганова, Т. Б. Технология хлебопекарного производства. – М.: ПрофОбрИздат, 2002. – 432 с.
204. Чекурова, Н. В. Разработка технологии хлебобулочных изделий с использованием цветочной пыльцы-обножки и перги: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. В. Чекурова; Моск. Гос. ун-т технол. и управл. им. К. Разумовского. – СПб, 2010. – 26 с.
205. Черных, В. Я. Влияние дисперсности пшеничной муки на её технологические свойства и параметры замеса теста / В. Я. Черных, О. Н. Бердышникова, Е. В. Жирнова, В. Ю. Митин // Хлебопродукты. – 2015. – № 7. – С. 56-58.
206. Черных, В. Я. Методические указания по определению гранулометрического состава на ИИС ГИУ-1 / В. Я. Черных, К. А. Сарбашев // Центр реологии пищевых сред ФГАНУ НИИХП. – М., 2016. – 35 с.
207. Черных, В. Я. Оценка качества жировых продуктов, используемых при производстве хлебобулочных изделий / В. Я. Черных, И. Х. Мизова, Ю. А. Султанович // Пищевая промышленность. – 2011. – № 3. – С. 58-60.
208. Черных, В. Я. Технология приготовления пшеничного хлеба с внесением морковного и тыквенного порошков / В. Я. Черных, Н. В. Родичева // Хлебопечение России. – 2012. – № 4. – С.16-19.
209. Чикунов, В. В. Целиакия: современный взгляд на проблему / В. В. Чикунов, Н. А. Ильенкова // Вестник клинической больницы. – 2010. – № 51. – С. 18-21.
210. Чугунова, О. В. АгронOMICеские свойства полбы, как нетрадиционного сырья для производства мучных кондитерских изделий / О. В. Чугунова, Е. В. Крюкова // Научный вестник. – 2015. – № 3(5). – С. 90-100.
211. Чугунова, О. В. Разработка ассортимента мучных кондитерских изделий функционального назначения / О. В. Чугунова, Н. В. Лейберова // Изв. Урал. экон. ун-та. – 2011. – Т. 35, № 3. – С. 152–157.
212. Черниховец, Е. А. К вопросу возможности проведения товароведной оценки качества киноа (*Chenopodium quinoa*) // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 2 с.

213. Шмалько, Н. А. Особенности микроструктуры и химического состава продуктов переработки зерна амаранта / Н. А. Шмалько, И. А. Чалова, Н. А. Моисеенко, Н. Л. Ромашко // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 1(20). – С. 57-63.
214. Шнейдер, Д. В. Метод определения биодоступности безглютенового сырья, макаронных и хлебобулочных изделий на тест-объектах – инфузориях *Tetrahymena pyriformis* / Д. В. Шнейдер, Н. К. Казеннова, И. В. Казеннов // Хлебопродукты. – 2012. – № 7. – С. 36-37.
215. Шнейдер, Д. В. Теоретические и практические аспекты создания безглютеновых продуктов питания на основе повышенной биодоступности сырья: 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки, злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Д. В. Шнейдер; Моск. Гос. ун-т технол. и управл. им. К. Разумовского. – М., 2012. – 51 с.
216. Шумилов, П. В. Современные представления о патогенетических механизмах целиакии: определяющая роль в клинических вариантах течения / П. В. Шумилов, Ю. Г. Мухина, О. К. Нетребенко // Педиатрия. – 2016. – Т. 95. – № 6. – С. 110-121.
217. Щелкановцев, В. А. Анализ потребительских предпочтений к продуктам функционального назначения и изучение факторов их формирующих: 05.18.15 «Товароведение пищевых продуктов и технология продуктов общественного питания»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. А. Щелкановцев; Кемер. технол. ин-т пищев. пр-ти. – Кемерово, 2008. – 20 с.
218. Щеколдина, Т. В. Использование квиноа в производстве мучных кондитерских изделий для людей, страдающих целиакией / Т. В. Щеколдина, А. Г. Христенко, Е. А. Черниховец // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2015. – № 5 (34). – С. 54–59.
219. Щипанова, А. А. Разработка технологии и оценка потребительских свойств биологически активной добавки на основе выжимок тыквы: 05.18.15 - Товароведение пищевых продуктов и технология продуктов общественного питания: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. А. Щипанова; Куб. гос. техн. ун-т. – Краснодар, 2006. – 26 с.
220. Юшков, С. Разработка комплексного состава растительных белков, имеющего полноценный набор аминокислот // Бизнес пищевых ингредиентов. – 2018. – № 1. – С. 22-27.
221. Ямашев, Т. А. Исследование структурно-механических свойств теста из смеси пшеничной и овсяной муки с применением фаринографа / Т. А. Ямашев // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 17. – С. 129-133.
222. Alvarez-Jubete, L. Baking properties and microstructure of pseu-docereal flours in gluten-free bread formulations / L. Alvarez-Jubete, M. Auty, E.K. Arendt, E. Gallagher // European Food Research and Technology. – 2010. – № 230. – P. 437-445.

223. Bhargava, A. *Chenopodium quinoa*. An Indian perspective / A. Bhargava, S. Shukla, D. Ohri // *Industrial Crops and Products*. – 2006. – № 23. – P. 73–87.
224. Brito, I. L. Nutritional and sensory characteristics of gluten-free quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) - based cookies development using an experimental mixture design / L. Brito Isabelle, Evandro Leite de Souza, Suênia Samara Santos Felex [et al.] // *Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – № 9. – Vol. 52. – P. 5866-5873.
225. Bermejo, H. J. E. Neglected crops: 1492 from a different perspective. / H. J. E. Bermejo, J. Leon // *FAO Plant Production and Protection Series*. – Rome, Italy: FAO, 1994. – № 26. – URL: <http://www.fao.org/3/t0646e/t0646e.pdf> (дата обращения: 16.01.2021).
226. Bruin, A. Investigation of the food value of quinoa and cañihua seed // *Journal of Food Science and Technology*. – 1964. – № 29. – P. 872-876.
227. Carlsson, R. The quality of the green fraction of leaf protein concentrate from *Chenopodium quinoa* Willd. grown at different levels of fertilizer nitrogen / R. Carlsson, P. Hanczakowski, T. Kaptur // *Animal Feed Science and Technology*. – 1984. – № 11. – P. 239-245.
228. Composition of foods integrated dataset (CoFID), 2015: сайт. – URL: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid> (дата обращения: 11.11.2020).
229. *Descriptores para Quinoa y sus parientes silvestres*. – FAO: Bioversity International, 2013. – 52 p.
230. Dhingra, S. Effect of flour blending on functional, baking and organoleptic characteristics of bread / S. Dhingra, S. Jood // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2004. – Vol. 39. – № 2. – P. 213-222.
231. Dini, I. Two novel betaine derivatives from *Kancolla* seeds (*Chenopodiaceae*) / I. Dini, G. C. Tenore, E. Trimarco, A. Dini // *Food Chemistry*. – 2006. – № 98. – P. 209-213.
232. Dini, I. Nutritional and antinutritional composition of *Kancolla* seeds: an interesting and underexploited andine food plant / I. Dini, G. C. Tenore, A. Dini // *Food Chemistry*. – 2006. – № 92. – P. 125-132.
233. EFSA, Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal*. – 2010. – № 8(3). – P. 1461, 1407.
234. Eliseeva, L. G. Development of enriched bakery products with biologically active quinoa substances to ensure a healthy diet / L. G. Eliseeva, E. V. Zhirkova, D. S. Kokorina [et al.] // *International Journal of Control and Automation*. – 2020. – Vol. 13. – № 1. – P. 180-194.

235. Estrada, A. Adjuvant action of *Chenopodium quinoa* saponins on the induction of antibody responses to intragastric and intranasal administered antigens in mice / A. Estrada, B. Li, B. Laarveld // *Comp Immunol Microb.* – 1998. – № 21. – P. 225–236.
236. Evans, E. Comparisons of methods used for estimating the growth of *Tetrahymena pyriformis* / E. Evans, S. Carruthers // *J. Sci. Food and Agr.* – 1978. – Vol. 29. – № 8. – P. 703-707.
237. Föste, M. Impact of quinoa bran on gluten-free dough and bread characteristics / M. Föste, S. D. Nordlohne, D. Elgeti [et al.] // *European Food Research and Technology.* – 2014. – № 239. – P. 767-775.
238. Galwey, N. W. Chemical composition and nutritional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) / N. W. Galwey, C. L. A. Leakey, K. R. Price, G. R. Fenwick // *Food Sciences and Nutrition.* – 1990. – 42F. – P. 245-261.
239. Gambus, H. The application of residual oats flour in bread production in order to improve its quality and biological value of protein / H. Gambus, M. Gibinski, D. Pastuszka [et al.] // *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultural University of Poznan. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznani.* – 2011. – Vol. 10. – № 3. – P. 313-325.
240. Gawlik-Dziki, U. Antioxidant and anticancer activities of *Chenopodium quinoa* leaves extracts – In vitro study / U. Gawlik-Dziki, S'wieca M., M. Sułkowski, D. Dziki [et al.] // *Food and Chemical Toxicology.* – 2013. – № 57. – P. 154-160.
241. Glycemic Index Research and GI News: сайт. – URL. <https://glycemicindex.com/> (дата обращения: 08.07.2019).
242. González, J. A. Quantitative determinations of chemical compounds with nutritional value from Inca crops: *Chenopodium quinoa* ("quinoa") / J. A. González, A. Roldán, M. Gallardo [et al.] // *Plant Foods Hum Nutrition.* – 1989. – № 39. – P. 331-337.
243. Greenfield, H. Southgate DAT. Food composition data. Producing, management and use (2nd ed.). – Rome: FAO, 2003.
244. Gross, R. Chemical composition and protein quality of some local Andean food sources / R. Gross, F. Koch, I. Malaga [et al.] // *Food chemistry.* – 1989. – № 34. – P. 25-34.
245. Haber, T. Use of triticale in the baking industry / T. Haber, J. Lewczuk // *Acta Alim. Pol.* – 1988. – № 3-4. – P.123.
246. Hofmanová, T. Evaluation of wheat/non-traditional flour composites. *Czech Journal of Food Sciences* / T. Hofmanová, M. Hrušková, I. Švec. – 2014. – Vol. 32.- № 3. – P. 288–295.
247. Hooda, S. Effect of fenugreek flour blending on physical, organoleptic and chemical characteristics of wheat bread / S. Hooda, S. Jood // *Nutrition and Food Science; Bradford.* – 2005. – Vol. 35. – № 3-4. – P. 229-242.

248. International Network of Food Data Systems (INFOODS) // FAO: офиц. сайт. – URL: <http://www.fao.org/infoods> (дата обращения: 28.09.2020).
249. Jacobsen, S. E. Adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) to Northern European agriculture: studies on developmental pattern // *Euphytica*.- 96. – P. 41-48. – URL: https://link.springer.com/article/10.1023/A:1002992718009?error=cookies_not_supported&code=c2247ba9-73a2-4e56-8e97-4f1d90bedc63 (дата обращения: 11.01.2021).
250. Jacobsen, S.-E. The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) / Sven-Erik Jacobsen // *Food Reviews International*. – 2003. – Vol. 19. – № 12. – P. 167-177.
251. James, L. E. A. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties // *Advances in Food and Nutrition Research*. – 2009. – Vol. 58. – 31 p.
252. Krupa-Kozak, U. Effect of organic calcium supplements on the technological characteristic and sensory properties of gluten-free bread / U. Krupa-Kozak, A. Troszyn'ska, N. Baćzek, M. Soral-S'mietana // *European Food Research and Technology*. – 2011. – № 232. – P. 497–500.
253. Khan, M. I. Effect of soy flour supplementation on mineral and phytate contents of unleavened flat bread (chapatis) / M. I. Khan, F. M. Angum, S. Hussain, M. T. Tariq // *Nutrition and Food Science; Bradford*. – 2005. – Vol. 35. – № 3-4. – P. 163-168.
254. Koziol, M. J. Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) // *Journal of the Science of Food and Agriculture* . – 1991. – № 54. – P. 211-219.
255. Koziol, M. J. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 1992. – № 5. – P. 35-68.
256. Koziol, M. J. Quinoa: A Potential New Oil Crop. *New Crops*. / J. Janick, J. E. Simon. – Wiley, New York, 1993. – P. 328-336.
257. Konishi, Y. Distribution of Minerals in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds / Y. Konishi, S. Hirano, H. Tsuboi, M. Wada // *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. – 2004. – Vol. 68. – № 1. – P. 231-234.
258. Koyro, H. W. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. / H. W. Koyro, S. S. Eisa // *Plant Soil*. – 2008. – № 302. – P. 79-90.
259. Lobanov, V. Economic effect of innovative flour-based functional foods production. / V. Lobanov, Yu. Slepokurova, I. Zharkova // *Foods and Raw Materials*. – 2018. – Vol. 6. – № 2. – P. 474-482.
260. Lorenz, K. Quinoa flour in baked products / K. Lorenz, L. Coulter // *Plant Foods for Human Nutrition*. – 1991. – № 41. – P. 213-222.

261. Mahoney, A. W. An evaluation of the protein quality of quinoa / A. W. Mahoney, J. G. Lopez, D. G. Hendricks // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1975. – № 23. – P. 190-193.
262. Martínez, E. A. Quinoa: Aspectos nutricionales del Arroz de los Incas // *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. – FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, 2014. – P. 331-340.
263. Mastebroek, H. Occurrence of sapogenins in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) / H. Mastebroek, H. Limburg, T. Gilles, H. Marvin // *Journal Science Food Agriculture*. – 2000. – № 80. – P. 152-156.
264. Master Plan for the International. Year of Quinoa. A Future Sown Thousands of Years Ago international year of quinoa. – FAO, 2013. – P. 26.
265. Mastromatteo, M. Nutritional and physicochemical characteristics of wholemeal bread enriched with pea flour / M. Mastromatteo, A. Danza, L. Lecce [et al.] // *International Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 50. – № 1. – P. 92-102.
266. Musina, O. Application of modern computer algebra systems in food formulations and development: a case study / O. Musina, P. Putnik, M. Koubaa [et al.] // *Trends in Food Science and Technology*. – 2017. – Vol. 64. – P. 48-59.
267. Ohimain, E. I. Recent advances in the production of partially substituted wheat and wheatless bread // *European Food Research and Technology*. – 2015. – № 240. – P. 257-271.
268. Paško, P. Effect of Quinoa Seeds (*Chenopodium quinoa*) in Diet on some Biochemical Parameters and Essential Elements in Blood of High Fructose-Fed Rats / P. Paško, P. Zagrodzki, H. Bartoń [et al.] // *Plant Foods for Human Nutrition*. – 2010. – № 65. – P. 333-338.
269. Patel, S. Resurgence of Interest in Ancient Grain Quinoa (*Chenopodium Quinoa*): An Appraisal / *Emerging Bioresources with Nutraceutical and Pharmaceutical Prospects // Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*. – 2015. – P. 91-100.
270. Peter, J. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) / J. Peter, Maughan [et al.] // *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. – 2007. – Vol. 3. – P. 148-158.
271. Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components / R. A-M. Repo-Carrasco-Valencia, L.A. Serna // *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*. – 2011. – № 31(1). – P. 225-230.
272. Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security July 2011 // *Food and Agriculture Organization of the United Nations: офиц. сайт*. – URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 11.01.2021).
273. Renard, C. M. G. C. Cell wall phenolics and polysaccharides in different tissues of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). / C. M. G. C. Renard, G. Wende, E. J. Booth // *J. Sci. Food Agric.* – 1999. – № 79. – P. 2029-2034.

274. Repo-Carrasco, R. A.-M. Nutritional Value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) / R. A.-M. Repo-Carrasco, R. C. Espinoza, S. E. Jacobsen // *Food Reviews International*. – 2003. – Vol. 19. – P. 179-189.
275. Ruales, J. Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds / J. RUALES, B.M. NAIR // *Plant Foods for Human Nutrition*. – 1992. – № 42. – P. 1-11.
276. Repo-Carrasco-Valencia, R. A.-M. Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components / R. A.-M. Repo-Carrasco-Valencia, L. A. Serna // *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*. – 2011. – № 31(1). – P. 225-230.
277. Rosell, C. M. Chemical Composition of Bakery Products / C. M. Rosell, R. Garzon // *Handbook of Food Chemistry*. – Spain, Valencia: Department of Food Science, Institute of Agrochemistry and Food Technology, Spanish Research Council, 2014. – P. 1-28.
278. Schoenlechner, R. Optimisation of bread quality produced from wheat and proso millet (*Panicum miliaceum* L.) by adding emulsifiers, transglutaminase and xylanase / R. Schoenlechner, M. Szatmari, A. Bagdi, S. Tömösközi // *LWT – Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 51. – № 1. – P. 361–366.
279. Schoenlechner, R. Functional Properties of Gluten-Free Pasta Produced from Amaranth, Quinoa and Buckwheat / R. Schoenlechner, J. Drausinger, V. Ottenschlaeger [et al.] // *Plant Foods for Human Nutrition*. – 2010. – № 65. – P. 339–349.
280. Stevens, M. R. Construction of a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) BAC library and its use in identifying genes encoding seed storage proteins / M. R. Stevens, C. E. Coleman, S. E. Parkinson // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2006. – № 112. – P. 1593-1600.
281. Stikic, R. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations / R. Stikic, D. Glamoclija, M. Demin et al. // *Journal Cereal Science*. – 2012. – № 55. – P. 132-138.
282. Takao, T. Hypocholesterolemic effect of protein isolated from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds / T. Takao, N. Watanabe, K. Yuhara [et al.] // *Food Science and Technology Research*. – 2005. – № 11. – P. 161-167.
283. Vega-Ga'lvez, A. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review / A. Vega-Ga'lvez, M. Miranda, J. Vergara [et al.] // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2010. – № 90. – P. 2541-2547.
284. World Health Organization. Proteins and Amino Acids in Human Nutrition. WHO/FAO/UNU Expert Consultation. World Health Organ Tech. Rep. – 2007. – P. 935.
285. Zhu, N. Anti-oxidative flavonoid glycosides from quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) / N. Zhu, S. Sheng, D. Li, E. J. Lavoie [et al.] // *J Food Lipids*. – 2001. – № 8. – P. 37–44.

Приложение А
(справочное)

Патент на изобретение № 2720687 - "Способ производства безглютеновых хлебцев"



Рисунок А.1 – Патент на изобретение № 2720687 - "Способ производства безглютеновых хлебцев"

Приложение Б
(справочное)

Математическое моделирование рецептур и технологий хлебобулочных изделий и хлебцев

Таблица Б.1 – План двухфакторного эксперимента по определению влияния муки киноа на физико-химические показатели качества и пищевую ценность хлебобулочных изделий

Сырьё	Вариант								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, г	91,3	91,3	73,7	73,7	95	70	82,5	82,5	82,5
Мука киноа цельнозерновая, г	8,7	8,7	26,3	26,3	5	30	17,5	17,5	17,5
Дрожжи хлебопекарные прессованные, г	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Соль пищевая, г	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Сахар белый, г	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное, г	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Клейковина сухая пшеничная, г	1,3	2,7	1,3	2,7	2,0	2,0	1,0	3,0	2,0
Вода питьевая, г	по расчету								

Таблица Б.2 - Физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий с мукой киноа

Показатель	Вариант								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Удельный объем, см/г	2,58	2,71	2,25	2,44	2,62	2,36	2,45	2,64	2,64
Пористость мякиша, %	67,48	69,41	59,83	61,04	51,88	61,05	55,47	53,26	53,45
Кислотность мякиша, град	2,46	2,53	3,64	3,55	2,43	3,98	2,98	2,96	2,95

Приложение В (обязательное)

Акт производственной выработки опытных партий разработанных продуктов

"УТВЕРЖДАЮ"
 Директор по развитию
 ООО "Миржик"
 Блинушов В. В.
 _____ 2021 г.



АКТ

**производственных испытаний технологии хлебцев хрустящих
"Славушка" на основе муки киноа и чечевичной муки**

Мы, нижеподписавшиеся, представители от ООО "Миржик": Директор по развитию В.В. Блинушов, Главный технолог И.В. Исаева, представитель от ФГБОУ ВО Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова соискатель кафедры Товароведения и товарной экспертизы Д.С. Кокорина составили настоящий акт о том, что на предприятии с 15 марта 2021 г. по 19 марта 2021 г. проведены испытания по внедрению технологии хлебцев хрустящих, выработанных на основе муки киноа и чечевичной муки, приготовленных безопасным способом.

Для выпечки хлебцев использовали чечевичную муку, соответствующую требованиям ТУ 9293-009-89751414-10 и ГОСТ 7066; муку киноа белую цельнозерновую по ТУ 10.61.22-004-05604978; дрожжи хлебопекарные прессованные по ГОСТ Р 54731; соль пищевая по ГОСТ Р 51574; масло льняное по ТУ 10.41.29-007-00948526; натрия карбонат Е500 по ГОСТ 32802; семена льна по ГОСТ 10582; семена подсолнечника по ТУ 9146-010-0084205687; сироп мальтозный по ОСТ 10-228-98; вода питьевая по СанПиН 2.1.4.1074.

В качестве контроля рассматривались хлебцы, изготовленные из муки первого сорта.

Рецептура и режим приготовления теста представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Рецепт и режимы приготовления теста

Рисунок В.1 – Акт производственной выработки опытных партий разработанных продуктов

Приложение Г (справочное)

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ		RU	2019663017
			
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ			
(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ			
Номер регистрации (свидетельства): 2019663017	Авторы: Елисеева Людмила Геннадьевна (RU), Кокорина Дарья Сергеевна (RU), Портнов Николай Михайлович (RU), Жиркова Елена Владимировна (RU)		
Дата регистрации: 08.10.2019	Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» (RU)		
Номер и дата поступления заявки: 2019661889 27.09.2019			
Дата публикации: 08.10.2019			
Название программы для ЭВМ: Компьютерная программа для проектирования пищевых продуктов с заданным химическим составом и пищевой ценностью			
Реферат: Программа предназначена для выполнения расчетов количественных показателей с целью оптимизации химического состава и пищевой ценности при разработке инновационных (функциональных, специализированных и т.п.) продуктов питания. Программа позволяет оформить группы вариантов рецептур и составных ингредиентов, позволяющих проектировать новые пищевые продукты с заданным химическим составом и пищевой ценностью. Программа предусматривает одно- и многопользовательскую работу, через веб-клиент (в режиме сервиса), на локальном компьютере и с многопользовательским разделением данных в локальной сети.			
Язык программирования: Встроенный язык 1С:Предприятие, версия 8.3.10.2561 и старше			
Объем программы для ЭВМ: 12156 Кбайт			

Рисунок Г.1 – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

Приложение Д (обязательное)

Порядок установки разработанной программы на компьютер и работы в ней

Количественная оценка пищевой ценности продукта, версия 1.0 (1С:Предприятие)

← → ☆ Аминокислотный скор

Сформировать [Иконки] Рецепт:

Данные Результат

Хлебцы с чечевицей и кино

Ингредиентный состав рецептуры

Продукт	Вес, г	Белок, г		
		на 100 г	% усвояемости	по рецептуре, усвояемы
Чечевица, зерно	50	24	94	12
Киноа (лебеда), сырое	50	14,12	94	7,06
Масло льняное	10	0,11		0,011
*Вода	300			
Разрыхлители, сода для выпечки	4			
Соль поваренная пищевая	6			
Подсолнечник	20	20,7	85	4,14
Семя, льняное	25	18,29	85	4,573
Сиропы, кукурузный, темный	14			
Итого	479		91,178	27,784

Аминокислотный состав на 100 г продуктов, г

Продукт	Три	Тре	Изо	Лей	Лиз	Мет	Цис	Фен	Тир	Вал	Гис	НАК
Чечевица, зерно	0,221	0,882	1,065	1,786	1,72	0,21	0,322	1,215	0,658	1,223	0,693	9,995
Киноа (лебеда), сырое	0,167	0,421	0,504	0,84	0,766	0,309	0,203	0,593	0,267	0,594	0,407	5,071
Масло льняное												
*Вода												
Разрыхлители, сода для выпе												
Соль поваренная пищевая												
Подсолнечник	0,348	0,928	1,139	1,659	0,937	0,494	0,451	1,169	0,666	1,315	0,632	9,738
Семя, льняное	0,297	0,766	0,896	1,235	0,862	0,37	0,34	0,957	0,493	1,072	0,472	7,76
Сиропы, кукурузный, темный												

Аминокислотный состав рецептуры (мг), с учетом усвояемости белка

Продукт	Три	Тре	Изо	Лей	Лиз	Мет	Цис	Фен	Тир	Вал	Гис	НАК	САК	ААК
Чечевица, зерно	110,5	441,0	532,5	893,0	860,0	105,0	161,0	607,5	329,0	611,5	346,5	4998	266	937
Киноа (лебеда), сырое	83,5	210,5	252,0	420,0	383,0	154,5	101,5	296,5	133,5	297,0	203,5	2536	256	430
Масло льняное														
*Вода														
Разрыхлители, сода для выпе														
Соль поваренная пищевая														
Подсолнечник	69,6	185,6	227,8	331,8	187,4	98,8	90,2	233,8	133,2	263,0	126,4	1948	189	367
Семя, льняное	74,3	191,5	224,0	308,8	215,5	92,5	85,0	239,3	123,3	268,0	118,0	1940	178	363
Сиропы, кукурузный, темный														
Итого	338	1 029	1 236	1 954	1 646	451	438	1 377	719	1 440	794	11421	889	2096
На 1 г белка	13,3	40,6	48,8	77,1	65,0	17,8	17,3	54,4	28,4	56,8	31,4	451	35	83

Начальная страница | Выписка из протокола оптимизации × | Аминокислотный скор ×

Рисунок Д.1 - Расчет аминокислотного скор хлебцев с киноа и чечевицей при помощи разработанной компьютерной программы

Количественная оценка пищевой ценности продукта, версия 1.0 (С:Предприятие)

Администратор

Оценка качества жиров

Рецептура: **Хлебы с чечевичей и киноа**

Сформировать

Параметры

Еще

Нутриенты на 100 г продуктов

Продукт	Калор ийнос ть	Жиры	НЖК	МНЖК	ПНЖК	Холес терин	Фосф оплин ды	10:0	12:0	14:0	15:0	16:0	17:0	18:0	20:0	22:0	24:0	14:1	16:1	16:1c	17:1	18:1	18:1c	18:1t	20:1	22:1	22:1c	22:1t	24
Чечевица, зерно	295	1.5	0.154							0.003		0.136		0.015					0.003				0.184			0.006			
Киноа (лебеда), сырое	368	6.07	0.706	1.613	3.292						0.6			0.037	0.03	0.03	0.01					1.42			0.093	0.083			0
Масло льняное	898	99.8	8.976		67.7			0.008	0.018	0.077	5.109	0.051	3.367	0.131	0.113	0.075	0.008	0.06	0.06			18.316	18.286	0.03		0.031	0.017	0.014	0
Подсолнечник	601	52.9	4.455						0.025		2.21	0.02	1.69	0.115	0.32	0.075			0.02			0.015	18.38			0.085	0.029		0
Семя, льняное	534	42.16	3.663	7.527	28.73					0.008	0.005	2.165	0.018	1.33	0.052	0.052	0.031		0.024				7.359			0.067	0.013		0
Сиропы, кукурузный, темный	286																												

Содержание нутриентов в рецептуре

Продукт	Калор ийнос ть	Жиры	НЖК	МНЖК	ПНЖК	Холес терин	Фосф оплин ды	10:0	12:0	14:0	15:0	16:0	17:0	18:0	20:0	22:0	24:0	14:1	16:1	16:1c	17:1	18:1	18:1c	18:1t	20:1	22:1	22:1c	22:1t	24	
Чечевица, зерно	147.500	0.750	0.077							0.002		0.068		0.008					0.002				0.092			0.003				0
Киноа (лебеда), сырое	184.000	3.035	0.353	0.807	1.646			0.001	0.002	0.008	0.003	0.511	0.005	0.337	0.013	0.011	0.008	0.001	0.006	0.006		1.832	1.829	0.003	0.003	0.002	0.001	0	0	
Масло льняное	89.800	9.980	0.898		6.770				0.005		0.442	0.004	0.338	0.023	0.064	0.015		0.004	0.004		0.003	3.676			0.017	0.006			0	
Подсолнечник	120.200	10.580	0.891							0.002	0.001	0.541	0.005	0.333	0.013	0.013	0.008		0.006			1.840			0.017	0.003			0	
Семя, льняное	133.500	10.540	0.916	1.882	7.483																								0	
Сиропы, кукурузный, темный	40.040																												0	
Итого	715.040	34.885	3.134	2.688	15.599			0.001	0.002	0.016	0.004	1.862	0.014	1.033	0.064	0.103	0.035	0.001	0.018	0.006	0.003	8.149	1.829	0.003	0.083	0.054	0.002	0.001	0	

Структура жирнокислотного состава

Группа жирных кислот	Количество	Доля в калорийности (%E)	Доля в массе, %
НЖК (насыщенные ж/к)	3,135	3.9	9.0
МНЖК (моновенасыщенные)	2,689	3.4	7.7
ПНЖК (полиненасыщенные)	15,599	19.6	44.7
ПНЖК омега-3	5,372	6.8	15.4
ПНЖК омега-6	1,432	1.8	4.1
ТЖК (трансизомеры ж/к)			

Коэффициент эффективности метаболизации (КЭМ)	0.003
МНЖК : ПНЖК	0.172
ПНЖК : НЖК	4.976
Линолевая : Олеиновая	1.131
Линолевая : Линоленовая	0.82
Омега-6 : Омега-3	0.267
Холестерин : Фосфолипиды	

Начальная страница

Выписка из протокола оптимизации x

Аминокислотный скор x

Оценка качества жиров x

Рисунок Д.2 – Оценка жиров в хлебах в программе "Количественная оценка пищевой ценности"

**Приложение Е
(справочное)**

Расчеты экономической эффективности производства разработанных хлебобулочных изделий

Таблица Е.1 - Расчет стоимости сырья и материалов для производства контрольного и опытного образцов хлеба

Рецептурный компонент	Кол-во на 100 кг		Ед. изм.	Цена за ед. р., с НДС (контроль)	Сумма с НДС, р. (контроль)	Цена за ед. р., с НДС (опыт)	Сумма с НДС, р. (опыт)
	Контроль	Опыт					
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта	100,00	83,00	кг	13,00	1300,00	13,00	1079,00
Мука киноа белая цельнозерновая	-	17,00	кг	-	-	230,00	3910,00
Дрожжи хлебопекарные прессованные	7,50	7,50	кг	38,00	285,00	38,00	285,00
Сахар белый	6,00	6,00	кг	36,80	220,80	36,80	220,80
Соль пищевая	4,50	4,50	кг	8,00	36,00	8,00	36,00
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	6,00	6,00	л	56,00	336,00	56,00	336,00
Клейковина сухая пшеничная	-	2,00	кг	-	-	80,00	160,00
Итого стоимость (выход 139,3 %)	-	-	-	-	2177,80	-	6026,80
Итого стоимость 100 кг	-	-	-	-	1563,39	-	4326,49

Таблица Е.2 – Расчет стоимости сырья и материалов для производства контрольного и опытного образцов хлебцев

Рецептурный компонент	Кол-во на 100 кг		Ед. изм.	Цена за ед. р. с НДС (контроль)	Сумма с НДС, р. (контроль)	Цена за ед. р., с НДС (опыт)	Сумма с НДС, р. (опыт)
	Контроль	Опыт					
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта	100,00	-	кг	13,00	1300,00	-	-
Мука киноа белая цельнозерновая	-	50,00	кг	-	-	50,00	2500,00
Мука чечевичная	-	50,00	кг	-	-	216,00	10800,00

Продолжение таблицы Е.2

Рецептурный компонент	Кол-во на 100 кг		Ед. изм.	Цена за ед. р. с НДС (контроль)	Сумма с НДС, р. (контроль)	Цена за ед. р., с НДС (опыт)	Сумма с НДС, р. (опыт)
Дрожжи хлебопекарные прессованные	1,00	1,00	кг	38,00	38,00	38,00	38,00
Соль пищевая	1,50	1,50	кг	8,00	12,00	8,00	12,00
Масло льняное	10,00	10,00	л	73,00	730,00	73,00	730,00
Семена льна	25,00	25,00	кг	55,00	1375,00	55,00	1375,00
Семена подсолнечника	20,00	20,00	кг	60,00	1200,00	60,00	1200,00
Сода пищевая	4,00	4,00	кг	29,60	118,40	29,60	118,40
Патока мальтозная	-	14,00	кг	18,00	252,00	18,00	252,00
Итого стоимость (Выход 139,3 %)	-	-	-	-	5025,40	-	17025,40
Итого стоимость 100 кг	-	-	-	-	3607,61	-	12169,69

Таблица Е.3 – Расчет коммунальных услуг на выпуск хлеба и хлебцев

Показатель	Ед. изм.	Кол-во на 100 кг	Цена за ед. р. с НДС	Сумма с НДС, р.
Электроэнергия	кВт/ч	45,30	6,00	271,80
Газ	м.куб	7,90	6,56	51,82
Вода	м.куб	4,50	25,55	114,98
Итого стоимость Выход 139,3 %	-	-	-	438,60
Итого стоимость 100 кг	-	-	-	313,51

Таблица Е.4 – Расчет заработной платы производственных рабочих

Номенклатура	Кол-во рабочих	Расценка за 100 кг продукции, р.	Итого затраты, р.
Заработная плата производственных рабочих с НДФЛ	3,00	800,00	2400,00
Страховые выплаты			724,80

Таблица Е.5 – Расчет экономического эффекта хлеба и хлебцев

Наименование	Хлеб		Хлебцы	
	контроль	опыт	контроль	опыт
Сырье и материалы	1563,39	4326,49	3607,61	17025,40
Транспортно-заготовительный налог	78,17	216,32	180,38	851,27
Коммунальные услуги	314,86	314,86	313,51	313,51
Заработная плата производственных рабочих с НДФЛ	2400,00	2400,00	2400,00	2400,00
Социальный налог (страховые выплаты 30,2 %)	724,80	724,80	724,80	724,80
Прочие производственные расходы (3 %)	152,44	239,47	216,79	639,45
Внепроизводственные расходы (3 %)	157,01	246,66	223,29	658,63
Итого затраты на выпуск 100 кг продукции	5390,66	8468,61	7666,38	22613,06
Прибыль	1078,13	1693,72	1533,28	4522,61
Рентабельность, %	20,00	20,00	20,00	20,00
Оптово-отпускная цена за 100 кг (в т.ч НДС 10 %), р.	7115,68	11178,56	10119,62	29849,24
Оптово-отпускная цена за ед. с НДС (массой 0,3 кг)	2,13	3,35	30,36	89,55
Экономический эффект	1725,01	2709,95	2453,24	7236,18
Увеличение экономического эффекта, %	-	57,10	-	195,00
Увеличение экономического эффекта, р.	-	984,94	-	4782,94

При выпуске экспериментального хлеба произойдет увеличение себестоимости единицы продукции на 50,8 % (0,77 р.). Несмотря на это с каждой реализацией 1 т экспериментального хлеба экономический эффект больше на 57,1 % (984,94 р.).

При выпуске экспериментальных хлебцев произойдет увеличение себестоимости единицы продукции на 176,4 % (37,37 р.). Несмотря на это с каждой реализацией 1 т экспериментальных хлебцев экономический эффект больше на 195 % (4782,94 р.).

Таблица Е.6 – Расчет сроков окупаемости экспериментального хлеба, в рублях

Показатель	Продукция	
	хлеб с мукой киноа	хлебцы с мукой киноа
	<i>1 год реализации (2021 г.)</i>	
Выручка от реализации (без НДС)	453633826,25	1211303082,92
Себестоимость продукции	300428206,62	772814657,46
сырье	160940978,13	633327428,97
зарплата	107133048,00	107133048,00
страховые взносы	32354180,50	32354180,50
Прибыль от реализации	153205619,63	438488425,46
Маржинальная рентабельность, %	33,80	36,00
Прочие производственные расходы (3 %)	13609014,79	36339092,49
Внепроизводственные расходы (3 %)	13609014,79	36339092,49
Коммунальные услуги	11712469,27	11662211,03
Транспортно-заготовительный налог 5 %	8047048,91	31666371,45
Налог на прибыль (20 %)	30641123,93	87697685,09
Чистая прибыль/убыток	75586947,95	234783972,91
Рентабельность, %	17,00	19,00

Окупаемость нового вида обогащенного хлеба и хлебцев произойдет на 1 году реализации. Для производства хлебцев с добавлением муки киноа необходимы инвестиции в размере 63333 тыс.р. для закупа сырья на производство продукции 1 месяца.

Инвестиции необходимы для закупа сырья и материалов на производство хлеба с добавлением муки киноа 1 мес. продукции в размере 16094 тыс.р.

Приложение Ж (обязательное)

Рекомендации комитета по биоэтике

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический 12, Тел.: +7 (8652) 35-22-82, 35-22-83, E-mail: inf@stgau.ru
ИНН 2634003069 КПП 263401001, УФК по Ставропольскому краю (2133 ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ), л/с
20216Х49680, р/с 40501810700022000002, в Отделение Ставрополь, г. Ставрополь БИК 040702001

РЕКОМЕНДАЦИИ

Комитета по биоэтике ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет

Протокол № 1 от 10 марта 2021 г.

Планируемое соискателем кафедры товароведения и товарной экспертизы Кокориной Дарьей Сергеевной экспериментальное исследование изучения эффективности разработанных хлебобулочных изделий для диабетического профилактического питания проведены доклинические испытания, в процессе которых было изучено их влияния на клинико-физиологические показатели и постпрандиальную гликемию лабораторных животных, планируется на самках белых беспородных крыс, массой 176-182 грамма, содержащихся в условиях вивария ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический д. 12, со стандартным световым режимом, температурой и питанием. Всего в эксперименте планируется использовать 24 животных по 6 крыс в каждой из четырех групп. Животных содержали в поликарбонатных сетках, покрытых стальными решетчатыми крышками с кормовым углублением. Животных кормили *ad libitum*: 1 группа - кормление хлебцами без добавок (контроль); 2 группа - кормление безглютеновыми хлебцами (опыт); 3 группа - кормление хлебом без добавок (контроль); 4 группа - кормление хлебом с добавлением муки киноа (опыт). Животных поили *ad libitum* из стандартных поилок для грызунов водопроводной водой, соответствующей СанПиН 2.1.3684-21.

Планируемое исследование с участием лабораторных животных будет проходить с соблюдением необходимых нормативных актов (Европейской Конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях, г. Страсбург от 18 марта 1986 г., Директивы 2010/63/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза "О защите животных, используемых для научных целей" от 22 сентября 2010 г. и ГОСТ 33216-2014 "Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными").

В связи с вышеизложенным планируемое соискателем Кокориной Дарьей Сергеевной экспериментальное исследование изучения эффективности разработанных хлебобулочных изделий для диабетического профилактического питания проведенные доклинические испытания, в процессе которых было изучено их влияние на клинико-физиологические показатели и постпрандиальную гликемию лабораторных животных может считаться не противоречащим основам медицинской этики.

Дополнительных рекомендаций комиссия не дает.

Председатель комитета
доктор биологических наук, профессор

А.Н. Квочко

Секретарь комитета
кандидат биологических наук, доцент

О.И. Севостьянова



**Приложение И
(обязательное)
Разработанные стандарты организации**

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«Миржик»
(ООО "Миржик")

УТВЕРЖДАЮ
ООО "Миржик"
Директор по развитию

м.п.  В.В. Блинушов

« » _____ 2021 г.

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ СТО 06550954-007-2021
ИЗДЕЛИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫЕ "ЗЛАТУШКА"
Технические условия**

Дата введения в действие __. __. 2021

г. Москва
2021

Рисунок И.1 – Стандарт СТО 06550954-007-2021 Изделия хлебобулочные «Златушка». Технические условия.

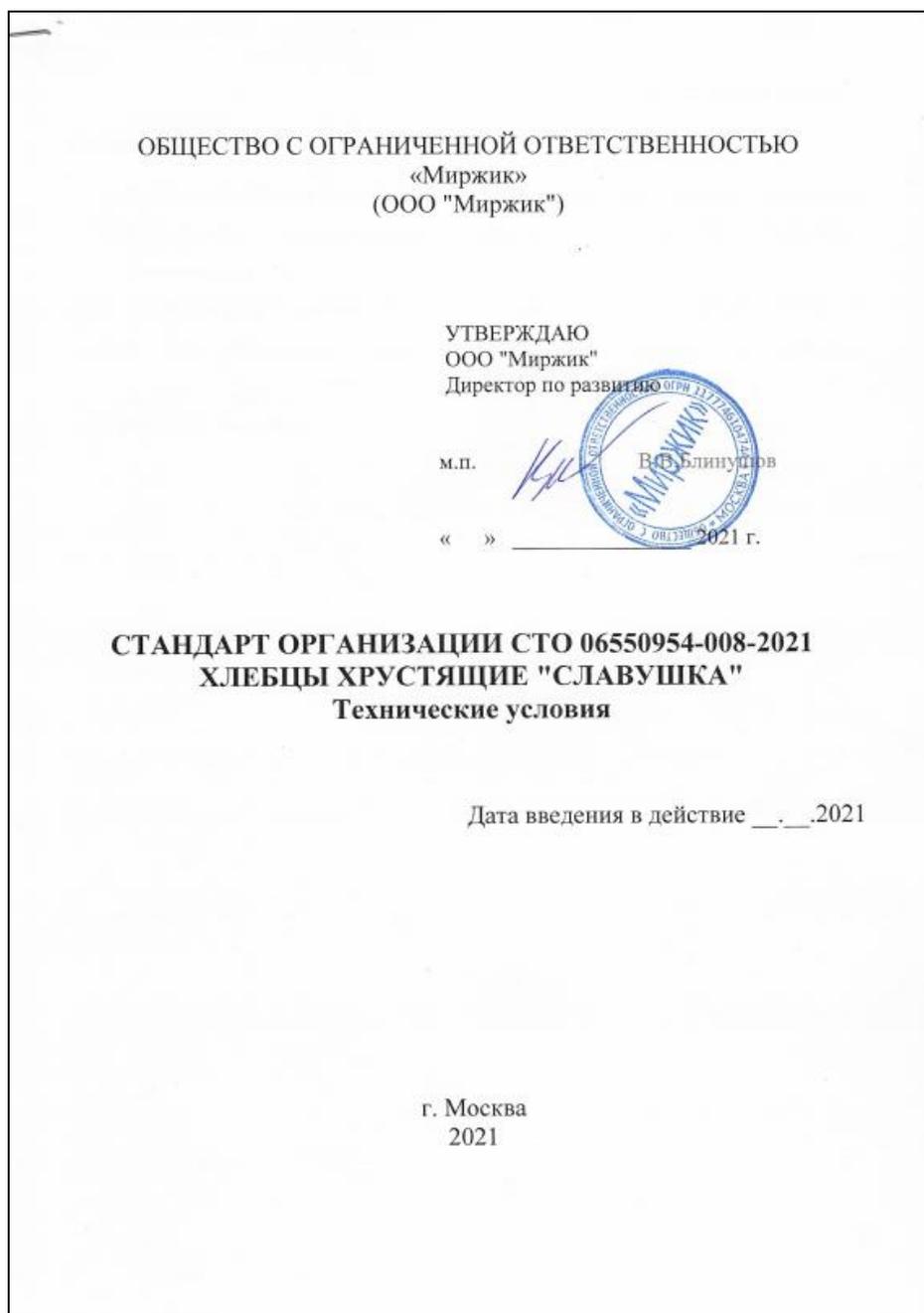


Рисунок И.2 – Стандарт СТО 06550954-008-2021 Хлебцы хрустящие «Славushка». Технические условия.

ТИ 06550954-007-2021

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«Миржик»
(ООО "Миржик")

УТВЕРЖДАЮ
ООО "Миржик"
Директор по развитию

м.п.



В.В.Блинушов

« »

2021 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
по производству хлебобулочных изделий "ЗЛАТУШКА"

ТИ 06550954-007-2021

Дата введения в действие __. __. 2021

г. Москва
2021

Рисунок И.3 – Технологическая инструкция по производству хлебобулочных изделий «Златушка»

