

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I»

На правах рукописи



СТАХУРЛОВА АНАСТАСИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА
ПРИМЕНЕНИЯ АМАРАНТА В ТЕХНОЛОГИИ
ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность: 05.18.01

Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., профессор
Дерканосова Наталья Митрофановна

Воронеж – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ ОБОГАЩЕННЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМАРАНТА.....	11
1.1 Обзор рынка обогащенных и функциональных хлебобулочных изделий.....	11
1.2 Амарант: агротехнологические характеристики и способы переработки.....	16
1.3 Применение амаранта и продуктов его переработки в технологиях пищевых продуктов на основе муки.....	31
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	42
2.1 Организация исследований и схема проведения	42
2.2 Сырье, используемое для проведения исследований	44
2.3 Методы оценки состава, свойств и показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.....	45
2.4 Моделирование процессов и статистическая обработка результатов исследований	51
ГЛАВА 3. ИЗУЧЕНИЕ ЛОЯЛЬНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К ОБОГАЩЕННЫМ ХЛЕБОБУЛОЧНЫМ ИЗДЕЛИЯМ.....	51
ГЛАВА 4. ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА АМАРАНТА КАК ОБОГАЩАЮЩЕГО ИНГРЕДИЕНТА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	60
4.1 Скрининг сортов амаранта Воронежской селекции и ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства».....	60
4.2 Изучение состава и свойств экструдата амаранта сорта Универсал	62
4.3 Исследование фракционного состава экструдата амаранта методом ИК- спектроскопии.....	64

4.4	Изучение свойств амаранта и экструдата амаранта как функционального пищевого ингредиента методом <i>in vivo</i>	67
4.5	Изучение функционально-технологических свойств муки из экструдата амаранта.....	74
4.6	Изучение сорбционной способности муки из экструдата амаранта.....	78
4.7	Изучение хлебопекарных свойств мучных смесей.....	82
4.8	Исследование влияния муки из экструдата амаранта на хлебопекарные свойства мучных смесей по реологическим свойствам теста.....	91
4.9	Исследование влияния муки из экструдата амаранта на хлебопекарные свойства мучных смесей с применением амилографа.....	103
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ХЛЕБА С МУКОЙ ИЗ ЭКСТРУДАТА АМАРАНТА.....		106
5.1	Моделирование структуры смеси из муки пшеничной хлебопекарной и муки из экструдата амаранта.....	106
5.2	Изучение процесса созревания теста с внесением муки из экструдата амаранта.....	117
5.3	Изучение потребительских свойств, пищевой и биологической ценности хлеба с мукой из экструдата амаранта.....	120
5.4	Влияние условий хранения на качество хлеба.....	125
ГЛАВА 6. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБА БЕЛОГО АМАРАНТОВОГО.....		131
	Заключение.....	136
	Список литературы.....	139
	Приложение 1 Анкета определения потребительских предпочтений к обогащенным хлебобулочным изделиям.....	168
	Приложение 2 Таблицы сопряженности результатов анкетирования.....	171
	Приложение 3 Общая характеристика исследуемых сортов амаранта.....	183
	Приложение 4 Результаты исследования состава зерна амаранта.....	185
	Приложение 5 Результаты анализа крови лабораторных животных.....	187

Приложение 6 Результаты гистологических исследований лабораторных животных	191
Приложение 7 Стандарт организации на муку из экструдата амаранта....	195
Приложение 8 Акт опытно-промышленных испытаний способа получения муки из экструдата амаранта.....	165
Приложение 9 Стандарт организации на хлеб белый амарантовый.....	198
Приложение 10 Акт опытно-промышленных испытаний способа получения хлеба белого амарантового.....	199
Приложение 11 Рецепттура хлеба белого амарантового.....	202
Приложение 12 Апробация результатов исследования.....	204

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одной из основных задач «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г.» является увеличение доли производства продуктов массового потребления, обогащённых витаминами, минеральными веществами, пищевыми волокнами и другими нутриентами.

Хлебобулочные изделия занимают важное место в питании населения, являясь одним из основных продуктов питания. Вместе с тем они отличаются низкой физиологической ценностью - характеризуются высоким содержанием углеводов и дефицитом других нутриентов: пищевых волокон, ряда витаминов и минеральных веществ, что способствует несбалансированности рационов питания населения.

В связи с этим, актуальным является повышение пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий, расширение ассортимента обогащенных хлебобулочных изделий с помощью применения нетрадиционных, но перспективных по своему составу растительных источников.

Степень разработанности темы. Исследование применения нетрадиционного для хлебопечения сырья, разработка новых рецептур и технологий представляют большой теоретический и практический интерес. Благодаря заинтересованности государства и населения, создается ряд предпосылок к расширению ассортимента, повышению пищевой и биологической ценности, сбалансированности составов, вкусовых достоинств хлебобулочных изделий.

Существенный теоретический и практический вклад в исследования по данному направлению внесли такие отечественные ученые, как Р.Д. Поландова, Л.И. Пучкова, В.Я. Черных, Н.В. Лабутина, С.Я. Корячкина, Л.П. Пащенко, Ю.Ф. Росляков, Г.О. Магомедов, Е.А. Кузнецова, Л.И. Кузнецова, И.М. Жаркова, Л.А. Мирошниченко и др., в области экструзионной технологии и использования продуктов ее переработки – А.Н. Остриков, В.Д. Малкина, О.В. Смирнов и др.

Несмотря на существующие разработки, на потребительском рынке по-прежнему отмечается дефицит обогащенных хлебобулочных изделий. Поэтому исследование свойств перспективного обогащающего сырья, его влияния на традиционные рецептуры и технологии хлебобулочных изделий подтверждает актуальность проводимых исследований.

Цель и задачи исследования. Целью исследований является решение комплекса научно-практических задач, направленных на разработку технологии обогащенного хлебобулочного изделия с использованием экструдата амаранта.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ современных направлений применения амаранта и продуктов его переработки в технологии хлебобулочных изделий;
- исследование предпочтений и лояльности потребителей относительно обогащенных хлебобулочных изделий – как обоснование направления исследований;
- скрининг сортов амаранта, как перспективного сырьевого ингредиента хлебобулочных изделий;
- изучение органолептических, физико-химических, функционально-технологических свойств экструдата амаранта;
- обоснование функциональности экструдата амаранта на основе изучения сорбции двухвалентных металлов;
- обоснование функциональных свойств экструдата амаранта на лабораторных животных;
- изучение влияния экструзии на состав зерна амаранта методом ИК-спектроскопии;
- изучение хлебопекарных и реологических свойств модельных мучных смесей с экструдатом амаранта;
- математическое моделирование соотношения мучных ингредиентов обогащенного хлеба с экструдатом амаранта;
- разработка рецептуры хлеба, исследование влияния муки из экструдата амаранта на созревание теста и качество готовых изделий;

- апробация разработанных способов и рецептурных составов в опытно-промышленных условиях; разработка нормативной и технической документации на новый вид продукции.

Научная новизна. Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках пунктов 2,6 паспорта специальности.

Установлена лояльность потребителей к обогащенным хлебобулочным изделиям.

Проведен скрининг сортов амаранта с позиций обогащающего сырьевого ингредиента. Для применения в технологии хлебобулочных изделий из сортовой пшеничной муки обоснован выбор амаранта сорта Универсал.

Теоретически и экспериментально обосновано применение муки из экструдата амаранта как обогащающего сырьевого ингредиента хлебобулочных изделий. Получены инфракрасные спектры поглощения цельносмолотой муки и муки из экструдата амаранта. Изучено влияние амаранта различных сортов и способов обработки на физиологию лабораторных животных. Установлена способность экструдата амаранта сорбировать ионы тяжелых металлов. Изучены функционально-технологические характеристики муки из экструдата амаранта, влияние экструдата амаранта на хлебопекарные и реологические свойства мучных смесей.

Применительно к задаче обоснования рецептурного состава обогащенного хлеба разработана методика расчета структуры многокомпонентной хлебопекарной смеси для производства обогащенных изделий, учитывающая нестабильность содержания нутриентов, и обеспечивающая выполнение технологических требований с учетом предпочтений потребителей.

Практическая значимость работы. На основании проведенных исследований:

- обоснована перспективность экструдата из амаранта сорта Универсал как обогащающего ингредиента хлебобулочных изделий;

- разработана технология хлеба с мукой из экструдата амаранта, который может быть идентифицирован как источник белка, пищевых волокон и кальция;

- разработаны комплекты нормативных и технических документов на муку из экструдата амаранта и хлеб с экструдатом амаранта – стандарт организации СТО 00492894-004-2020 Мука из экструдата амаранта и СТО 00492894-005-2020 Хлеб белый амарантовый, РЦ 00492894-005-2020 Хлеб белый амарантовый.

Методология и методы исследования. Методология основана на общепринятых, стандартных и специальных методах исследования.

В диссертационной работе использованы современные методы сбора, систематизации и сравнительного анализа данных - IBM SPSS Statistics 26.0, Statistica, Microsoft Excel 2020, Photoshop CS2, Google Form.

Положения, выносимые на защиту:

Теоретическое и экспериментальное обоснование применения муки из экструдата амаранта сорта Универсал, как обогащающего сырьевого ингредиента хлебобулочных изделий.

Результаты изучения инфракрасных спектров цельносмолотого и экструдированного зерна амаранта, состава, сорбционных, функционально-технологических свойств экструдата амаранта, хлебопекарных и реологических свойств мучных смесей из пшеничной муки и муки из экструдата амаранта. Результаты исследования амаранта и экструдата амаранта методом *in vivo*.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований обогащенного хлеба с экструдатом амаранта.

Степень достоверности результатов исследования. Экспериментальные исследования проводились в многократной повторности, в том числе с применением статистического и математического анализа при доверительной вероятности 0,95. Основные результаты исследования обсуждены на научных международных и национальных конференциях и отражены в рецензируемых научных изданиях, закреплены актами промышленных испытаний.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались на научных и научно-практических конференциях различного уровня: «Проблемы товароснабжения населения: товароведение и экспертиза, технологии производства и безопасность сельскохозяйственной продукции»

г. Тверь 2014 г., «Хранительна наука, техника и технологии 2015», г. Пловдив (Болгария) 2015 г., «Пищевые инновации и биотехнологии» г. Кемерово 2016 г., III международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов на иностранных языках, г. Воронеж 2017 г., «Продовольственная безопасность в контексте новых идей и решений», г. Семей (Казахстан) 2017 г., IV Международный сельскохозяйственный симпозиум «Агросим 2017» г. Яхорина (Босния и Герцеговина) 2018 г., «Социально-экономические проблемы продовольственной безопасности: реальность и перспектива», г. Мичуринск 2017 г., «Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания», г. Екатеринбург 2017 г., «Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров», г. Курск 2017 г., «Роль аграрной науки в развитии АПК РФ» г. Воронеж 2017 г., IX Международный сельскохозяйственный симпозиум «Агросим 2018» г. Яхорина (Босния и Герцеговина) 2018 г., «Региональный рынок потребительских товаров: перспективы развития, качество и безопасность товаров, особенности подготовки кадров в условиях развивающихся IT-технологий» г. Тюмень 2018 г., «Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности» г. Воронеж. 2018 г., «Инновационные тенденции развития российской науки» г. Красноярск, 2018 г., X Международный сельскохозяйственный симпозиум «Агросим 2019» г. Яхорина (Босния и Герцеговина) 2019 г., «Молодежный вектор развития аграрной науки», г. Воронеж 2019 г., IV Международная научно-практическая конференция «Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия. Управление «зелёными» навыками в пищевой промышленности» г. Москва 2019 г., VII Международная научно-практическая конференция «Церевитиновские чтения-2020», г. Москва 2020 г., «Agriculture and food security: technology, innovation, markets, human resources», г. Казань 2020 г., IX Международная научно-техническая конференция «Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений» г. Воронеж 2021 г. и других.

Опытные образцы экструдата амаранта, муки из экструдата и хлеба белого с мукой их экструдата амаранта демонстрировались и отмечены дипломами и медалями на региональных выставках «АГРОСЕЗОН» в 2017 г., 2018 г., 2020 г.; «ВОРОНЕЖАГРО-2018».

Результаты исследования апробированы в опытно-промышленных условиях учебно-научно-производственного комплекса «Агропереработка» ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

Публикации. По материалам исследования опубликовано 35 работ, в том числе 3 с индексацией базами Scopus и Web of Science, 3 в научных журналах, рекомендуемых ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и 12 приложений. Текст диссертационной работы изложен на 166 страницах. Основная часть работы содержит 46 рисунков и 45 таблиц. Список литературы включает 225 наименований, в том числе 30 иностранных источников.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ ОБОГАЩЕННЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМАРАНТА

1.1 Обзор рынка обогащенных и функциональных хлебобулочных изделий

Современное хлебопекарное производство представляет собой динамичную, постоянно развивающуюся систему, включающую материально-техническое, информационное, организационное и научное обеспечение. В настоящее время значимой тенденцией развития хлебопечения в мире и в нашей стране является повышение пищевой ценности хлебобулочных изделий.

По результатам анализа макронутриентной обеспеченности рационов питания населения Российской Федерации, по сравнению со средними рекомендуемыми нормами потребления, выявлен избыток жира на 15%, дефицит белка – на 12% и углеводов – на 16%. Особую остроту имеет проблема микронутриентной недостаточности в рационе питания населения – в частности, витаминов группы В, РР, А, D, железа, кальция, йода, пищевых волокон [17; 20; 70; 71; 80; 199; 219]. На этой основе развитие производства специализированной пищевой продукции позиционируют как новый формат взаимодействия пищевой индустрии и медицины [169]. Для идентификации подобной продукции и ее составляющих разработаны следующие определения:

- функциональный пищевой продукт – специальный пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, обладающий научно обоснованными и подтвержденными свойствами, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, предотвращающий дефицит питательных веществ, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе функциональных пищевых ингредиентов;

- обогащенный пищевой продукт – функциональный пищевой продукт, получаемый добавлением одного или нескольких функциональных пищевых ингредиентов к традиционным пищевым продуктам в количестве, обеспечивающем предотвращение или восполнение имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ и (или) собственной микрофлоры;

- функциональный пищевой ингредиент – живые микроорганизмы, вещество или комплекс веществ животного, растительного, микробиологического, минерального происхождения или идентичные натуральным, входящие в состав функционального пищевого продукта в количестве не менее 15% от суточной физиологической потребности, в расчете на одну порцию продукта, обладающие способностью оказывать научно обоснованный и подтвержденный эффект на одну или несколько физиологических функций, процессы обмена веществ в организме человека при систематическом употреблении содержащего их функционального пищевого продукта [60].

Дополнительно, понятие пищевой продукции с измененной пищевой ценностью определяется межгосударственно [60]:

- специализированная пищевая продукция – пищевая продукция, для которой установлены требования к содержанию и (или) соотношению отдельных веществ или всех веществ и компонентов и (или) изменено содержание и (или) соотношение отдельных веществ относительно естественного их содержания в такой пищевой продукции и (или) в состав включены не присутствующие изначально вещества или компоненты (кроме пищевых добавок и ароматизаторов) и (или) изготовитель заявляет об их лечебных и (или) профилактических свойствах, и которая предназначена для целей безопасного употребления этой пищевой продукции отдельными категориями людей;

- обогащенная пищевая продукция – пищевая продукция, в которую добавлены одно или более пищевые и (или) биологически активные вещества и (или) пробиотические микроорганизмы, не присутствующие в ней изначально, либо присутствующие в недостаточном количестве или утраченные в процессе

производства (изготовления); при этом гарантированное изготовителем содержание каждого пищевого или биологически активного вещества, использованного для обогащения, доведено до уровня, соответствующего критериям для пищевой продукции – источника пищевого вещества или других отличительных признаков пищевой продукции, а максимальный уровень содержания пищевых и (или) биологически активных веществ в такой продукции не должен превышать верхний безопасный уровень потребления таких веществ при поступлении из всех возможных источников (при наличии таких уровней).

Функциональные пищевые ингредиенты часто имеют растительное происхождение. Условно в зависимости от сырья они представлены продуктами переработки зерновых культур (мука, крупка, хлопья, цельное зерно, пророщенное зерно нетрадиционных для хлебопечения культур), продуктами переработки лекарственных растений (экстракты, листья, порошки из лекарственных трав и растений), продуктами переработки плодов и овощей (порошки, выжимки, пюре из ягод, плодов, овощей и др.) [21; 55; 79; 83; 84; 145; 158; 208].

Обязательное обогащение муки из зерновых культур минеральными веществами и витаминами проводится в 83 странах. Среди стран мира по выпуску на рынок новых хлебобулочных изделий лидирует Индия, на долю которой приходится 274 разработки. Далее следуют Бразилия (101 продукт), Италия (97 продуктов) и Канада (92 продукта). Обзор наиболее распространенных заявлений, которыми сопровождается продукт, в хлебобулочной отрасли на мировом рынке приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Позиционирующие заявления продуктов-новинок [222]

Направленность, особенность продукта	Количество новых продуктов
1	2
Вегетарианский	355
Без добавок / консервантов	243
С низким содержанием / Не содержит аллергенов	210
Цельнозерновой	201

Продолжение таблицы 1

1	2
С низким содержанием / Не содержит трансжиров	153
Без глютена	141
Этичный продукт в экологичной упаковке	127
Богат клетчаткой	126
Представлен в соцмедиа	122
Простой в использовании	104

Как можно заметить, мировое производство направлено на выпуск продукции с измененной пищевой ценностью, удобной в использовании и с минимизацией вреда окружающей среде [222].

Все более востребованными становятся продукты без содержания глютена, при чем, предпочтение безглютеновому хлебу отдают не только потребители, страдающие целиакией, но и просто убежденные в том, что он более полезен для здоровья, чем традиционный. Например, в США последние составляют 75% от всего числа употребляющих хлеб без глютена [47; 49; 56; 108]. Дополнительно можно отметить появление таких узких направлений, как изделия для людей пожилого возраста (с низким содержанием натрия), для будущих мам (с фолиевой кислотой). Компания Stonemill гендерно разделяет хлеб – мужской вариант обогащен белком, женский – витаминами D и кальцием. Так, например, фолиевую кислоту в обязательном порядке добавляют в хлеб в более чем 50 странах мира, включая США и Канаду. В Австралии обязательным является обогащение фолиевой кислотой хлебопекарной муки [198].

Тем не менее, основным драйвером развития сегмента витаминизированных хлебобулочных продуктов в западных странах являются в меньшей степени государственные органы и в гораздо большей степени – потребители. Основными факторами этого увеличения являются растущее потребление здоровой хлебобулочной продукции и макаронных изделий, повышение популярности функциональных ингредиентов выпечки, а также увеличение собственного хлебобулочного бизнеса супермаркетов [222].

В России также разработана нормативная база по обогащению пищевой продукции витаминами, однако процесс носит инициативный характер. Так, согласно «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г.», одной из основных задач является увеличение доли производства продуктов массового потребления, обогащённых витаминами и минеральными веществами, включая массовые сорта хлебобулочных изделий, – до 40–50% от общего объёма производства, что составляет 2,8–3,5 млн т. «Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» обосновывают увеличение производства (до 50% от общего объёма) обогащённых видов хлебобулочной продукции. По официальным данным, объём производства обогащённых хлебобулочных изделий составляет всего 1%. В качестве необходимых мер для улучшения микронутриентного статуса и устранения йоддефицитных состояний населения России, по мнению Кодинцевой В.М., каждому производителю хлеба целесообразно включать в ассортимент своей продукции хотя бы один вид хлеба с использованием витаминов и/или йодированной соли [86].

Затруднения в развитии рынка обогащенных изделий связано и с трудоемкостью технологий. Технологии специализированной продукции условно разделяют на 2 - технологии хлебобулочных изделий с добавлением пищевых ингредиентов, которые дозируются от 3 % до 20-30 % к общей массе муки (пищевые волокна, нетрадиционные виды муки и др.) и технологии с добавлением микронутриентов - витаминов, минералов и др. По первому направлению разрабатываются технологии с целью совершенствования качества изделий и их потребительских свойств (объем, пористость и т.д.), а также повышающие микробиологическую чистоту хлеба. По второму направлению создаются технологии, усиливающие усвояемость микронутриентов или снижающие их потери на стадии технологического процесса [27].

Таким образом, можно отметить, что на сегодняшний день проблема несбалансированности рационов питания в нашей стране остается актуальной.

Развитие отечественного рынка обогащенной хлебобулочной продукции наблюдается, но его уровень явно недостаточен при возможном широком использовании хлебобулочных изделий как объекта обогащения лимитирующими нутриентами.

1.2 Амарант: агротехнологические характеристики и способы переработки

Одним из путей повышения пищевой ценности хлебобулочных продуктов является использование нетрадиционного для хлебопечения сырья, содержащего в своем составе сбалансированный комплекс белков, липидов, минеральных веществ и витаминов. Ценным по своим питательным и лечебно-профилактическим свойствам является амарант.

Родиной амаранта является Южная Америка, где произрастает наибольшее количество его видов, разновидностей и форм. Оттуда он был завезен в Северную Америку, Индию и другие страны. Вторичным центром формообразования стали Северная Индия и Китай, где в настоящее время также находится большое количество видов амаранта [87].

Для нашей страны амарант – относительно новая культура; первые опыты по введению амаранта в культуру были проведены в 30-е гг. прошлого столетия, после ботанических экспедиций в Америку Н.И. Вавилова. Культура долго использовалась только с кормовыми целями. Первые технические условия – ТУ 9719 186033453495 - на зерно амаранта как промышленное сырье для хлебобулочных изделий и других пищевых продуктов были разработаны Всероссийским научно-исследовательским институтом жиров в 1995 году и утверждены со сроком введения с 01.07.95 г. [23; 76; 78].

Амарант принадлежит к семейству амарантовых (*Amaranthaceae* L.), подсемейству Амарантовых (*Amaranthoidae*), роду амарант, или щирица (*Amaranthus* L.). Род содержит около 75 видов и до 800 подвидов [110; 165].

Это однолетнее, реже многолетнее растение. Листья черешковые очередные или супротивные, цельные, без прилистников. Форма листовой пластинки эллиптическая, яйцевидно-ромбическая, продолговатая. Листья большие, овальные, сверху заостренные. Масса взрослого растения может достигать 3-5 кг. Соцветие – прямая или поникающая, рыхлая или плотная колосовидная метелка красного, багряного, коричневого, зеленого или другого цвета. Метелка в зрелом состоянии имеет длину 30 см и более и диаметр – до 15 см. Масса одной метелки достигает 1 кг. Плод яйцевидной формы, открывающийся крышечкой. При образовании плода при нем сохраняются сухие пленчатые листочки околоцветника. Семена мелкие (масса 1000 семян 0,45-0,9 г, диаметр около 1 мм), линзовидные, дисковидные, округлые, гладкие, в прочной оболочке, хорошо приспособлены к выпадению из плода.

Отличительными особенностями амаранта являются высокая семенная продуктивность и очень высокий коэффициент размножения (2000-5000) [93]. Окраска семян разная – белая, желтая, светло-оранжевая, коричневая, фиолетовая, серая. Снаружи они покрыты плотной и прочной оболочкой, которая обеспечивает длительное сохранение жизнеспособности. Зародыш краевой, кольцевой, охватывающий эндосперм. Цветение и созревание семян в соцветии не происходит одновременно, а распространяется с нижней ее части к верхушке. Свежеубранные семена амаранта практически не прорастают. Всхожесть семян сохраняется в течение 5-10, а некоторых видов – до 40 лет [93; 136].

В основном, выведенные сорта амаранта полностью пригодны к механизированному возделыванию и особых приемов в технологии выращивания не требуют [37, 137]. Так, согласно исследованию [62], в Центрально-Черноземном регионе (ЦЧР) лучшие условия для зернового амаранта складываются при глубокой основной обработке почвы (вспашка или глубокое рыхление) и проведении весной боронования и 2-х культиваций или при бороновании, внесении глифосата и предпосевной культивации. В исследованиях Г.А. Лященко в лесостепи ЦЧР [94] наибольшая масса и урожай семян с одного растения получены при густоте 25 шт/м². По мнению других авторов,

оптимальной густотой стояния зернового амаранта является 20–30 шт/м² (на фуражных посевах – 70–150 шт/м²), а лучшим способом посева считается широкорядный, с междурядьями 45 см [65].

Произрастают амаранты преимущественно в теплых и умеренных зонах. Амарант хорошо растет на всех основных видах почв, отличается высоким уровнем устойчивости к болезням, засолению, засухам и жаре - потребность в воде в 2-2,5 раза меньше, чем у бобовых и злаковых культур. То есть амарант от природы обладает высоким уровнем устойчивости как к абиотическим, так и к биотическим стрессовым факторам. Однако для России одной из проблем при выращивании амаранта остается теплолюбивость всех его видов и сортов. Например, оптимальная температура прорастания семян варьирует в пределах 20-25 °С, причем оптимальная температура для развития составляет 25-30 °С. Сумма активных температур для вызревания семян большинства сортов амаранта в условиях ЦЧР составляет 2000-2250 °С [26; 75; 160].

Амарант – высокоурожайная культура. Урожай зеленой массы составляет в среднем 500-800 ц/га, что на 20-30% выше, чем у традиционной силосной культуры – кукурузы. В 100 кг зеленой массы содержится в среднем 15-18 корм. ед., а на 1 корм. ед. в зеленой массе приходится 180-200 г перевариваемого протеина, валовой сбор которого составляет 1,5-2,0 т/га [131; 135].

Листовую массу амаранта также используют для пищевых целей. В странах Африки, Южной Америки, Китая и Индии амарант употребляют практически ежедневно - листья амаранта используются в приготовлении различных блюд, супов и в качестве гарнира [77]. Стебель и молодые листья, сорванные до цветения, используют как шпинат или салат в сыром виде для приготовления высокобелковых салатов. Поскольку листья амаранта не имеют особого вкуса, их использование не влияет на вкусовые характеристики блюд [125].

Зеленая часть амаранта богата кальцием и используется в качестве источника биогенного кальция и антацидного средства. Содержание белка в листьях амаранта, согласно литературным данным, может достигать 15%.

Дополнительно, использование листьев амаранта в чайных смесях повышает содержание флавоноидов и антиоксидантную активность [26; 55, 114; 195].

Дополнительно, амарант высоко ценится как лекарственное растение. Из-за высокого содержания пектина отмечена способность зеленых листьев выводить из организма радионуклиды и тяжелые металлы [75; 114; 193]. Имеются сообщения, что в амаранте содержатся противораковые вещества. Например, у амаранта был изучен луназин-подобный пептид, который способен проникать в ядро клеток и ингибировать канцероген-индуцируемую трансформацию NIH-3T3 клеток (фибробласты мыши) [209]. На крысах было показано, что белки амаранта могут обладать антитромботическим эффектом, что может говорить о возможности применения амаранта при сердечнососудистых заболеваниях [221]. Также на крысах были проведены опыты по определению антиоксидантного статуса, липидного профиля и артериального давления при кормлении белками амаранта. Было выявлено, что при таком кормлении у животных уменьшается содержание в плазме общего холестерина, увеличивается железовосстанавливающая активность плазмы, уменьшается содержание 2-тиобарбитуровой кислоты, супероксиддисмутазы и снижается кровяное давление [205].

В настоящее время разрабатываются способы обработки, переработки и хранения листовой массы. Учеными Воронежского ГАУ [8] предложен способ маринования листьев с сохранением содержания полезных веществ на высоком уровне. В ряде западных стран, а затем и в России стали активно использовать микрозелень амаранта – двухнедельные ростки. Авторы научных исследований заявляют о нормализации артериального давления, повышении иммунной защиты организма при включении в рацион культуры на данном этапе вегетации [207; 210; 220].

Вопросами переработки зерна амаранта активно занимаются научно-исследовательские институты, высшие учебные заведения соответствующего профиля и коммерческие структуры, в частности, ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности» (г. Москва)

ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (г. Москва), ФГБОУ ВО Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар), ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет инженерных технологий (г. Воронеж), ООО «Русская олива» (г. Воронеж) и другие.

Зерно амаранта содержит в среднем от 2,0 до 17% липидов в пересчете на сухое вещество (СВ). Главной особенностью амарантового масла, отличающей его от всех известных масел, является высокое содержание в нем таких физиологически активных компонентов, как сквален и фитостеролы. Сквален регулирует липидный и стероидный обмен, фитостеролы снижают количество холестерина в крови. Содержание сквалена в амарантовом масле достигает до 8% (в таблице 2 приведено сравнительное содержание сквалена в масле из разных культур), фитостеролов – до 2% [105].

Таблица 2 - Содержание сквалена в масле из разных культур [141]

Масло	Содержание сквалена, %
Амарантовое	0,4-7,3
Оливковое	до 0,8
Из лесных орехов	0,028
Арахисовое	0,027
Кукурузное	0,027
Из виноградных косточек	0,01
Соевое	0,009

Амарантовое масло взаимодействует с любым медикаментозным лечением, устраняет побочные явления от применения медикаментов или других методов активной терапии, улучшает функции почек, печени, подавляет проявление токсикозов, нормализует показатели мочи и крови, мягко воздействует на слизистую оболочку желудка и кишечника, восстанавливает работу клеток эпителия, снижает развитие патогенных микроорганизмов микрофлоры, выводя из организма их токсичные продукты, помогает восстановлению работы кровеносной системы; предупреждает и защищает от развития эрозивных процессов [32; 98; 171; 202; 212].

Вторичным продуктом при переработке зерна амаранта при получении амарантового масла прессовым способом является жмых. Он обладает рядом функциональных свойств за счет биологически активных веществ, входящих в его состав. Жмых отличается высоким содержанием белков (до 32%). Лидирующее место среди незаменимых аминокислот занимают лизин, метионин и триптофан, содержание лизина в жмыхе амаранта в 30 раз больше, чем в пшеничном зерне. Высоко содержание полиненасыщенных жирных кислот, сквалена, минеральных веществ (кальций, селен, железо, цинк, марганец, кобальт, медь, фосфор, магний) и витаминов (Р, β -каротин, С, Е, В₁, В₂) и т.д. [92].

Жмых амаранта, производимый ООО «Русская Олива», имеет характеристику, представленную в таблице 3.

Представленные данные характеризуют жмых амаранта, как полифункциональную, биологически активную систему, обладающую биогенным потенциалом. Его целесообразно применять в качестве компонента композиций для создания продуктов питания нового поколения [96; 120].

Таблица 3 – Состав амарантового жмыха [26]

Показатель	Содержание, %
Массовая доля влаги	3,1-4,4
Массовая доля сырого жира в пересчёте на абсолютно сухое вещество (АСВ)	9,5-11,3
Массовая доля сырого протеина в пересчёте на АСВ	33,1-33,6
Массовая доля углеводов в пересчёте на АСВ	41,5-41,9
Массовая доля золы, нерастворимой в соляной кислоте, в пересчёте на АСВ	4,1-4,3
Массовая доля сырой клетчатки, в пересчёте на АСВ	6,5-6,7

Разработаны технологии получения муки из зерен амаранта. ООО «Русская олива» производит и реализует цельносмолотую амарантовую муку без отбора отрубей (ТУ 9293-006-18932477-2004), а также амарантовую муку следующих сортов: «Экстра», высшего, 1-го, 2-го, с повышенным содержанием белка, грубого помола и крупчатку (ТУ 9293-004-77872064-2011). Пищевая и энергетическая ценность муки приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Пищевая и энергетическая ценность амарантовой муки, в 100 г [46]

Показатель	Мука		
	«Экстра», высшего, 1-го, 2-го, грубого помола, крупчатка	с повышенным содержанием белка	цельносмолотая
1	2	3	4
Белки, г	9,5	30	16
Жиры, г	3,9	10	7
Углеводы, г	67,8	40	71
в том числе:			
крахмал	52,6	31	68
водорастворимые	15,2	9	3
Клетчатка, г	1,1	6,1	6
Энергетическая ценность, ккал (кДж)	344 (1442)	370 (1551)	411 (1722)

ООО «Корпорация Ди & Ди» (г. Санкт-Петербург, ТМ «Di&Di») производит муку из семян амаранта в соответствии ТУ 9293-026-66032220-2014. Дисперсность муки находится в пределах от 0,05 до 0,5 мм [124].

Амарантовая мука на российском рынке также представлена компаниями ООО «Образ жизни» (г. Барнаул, ТМ «Образ жизни Алтай»), ООО «Хлебзернопродукт» (г. Таганрог, ТМ «С.Пудовъ»), ООО «Роял Форест» (г. Москва, ТМ «Royal Forest»), ООО «Эркон» (г. Новосибирск, ТМ «Радоград»), ООО «Полезно» (г. Москва, ТМ «Polezzno»), ООО «Виктория» (Новгородская обл., ТМ «Масляный король») и другими.

Главное превосходство амаранта над другими видами зерновых – высокое содержание незаменимой аминокислоты – лизина (в 2–2,5 раза больше, чем в пшенице и ржи), серосодержащих аминокислот, пищевых волокон, витамина С, кальция, магния и фосфора [89]. Амарантовую муку зачастую используют в качестве добавки к традиционной муке – пшеничной. Данные по сравнительному химическому составу муки из амаранта, пшеницы и ржи приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав различных видов муки [89]

Наименование нутриента	Содержание нутриентов в 100 г продукта		
	амарантовая мука	пшеничная мука	ржаная мука
Белки, г	13,56	13,00	9,90
Жиры, г	7,02	2,50	2,20
Углеводы, г	58,55	57,50	55,80
Пищевые волокна, г	6,7	11,30	16,40
Витамин В ₁ (тиамин), мг	0,12	0,37	0,44
Витамин В ₂ (рибофлавин), мг	0,20	0,10	0,20
Витамин В ₅ (пантотеновая кислота), мг	1,46	1,20	1,00
Витамин В ₆ (пиридоксин), мг	0,59	0,60	0,41
Витамин В ₉ (фолаты), мкг	82	46	55
Витамин РР (ниацин), мг	0,92	4,90	1,30
Витамин Е (токоферол), мг	1,19	3,40	2,80
Витамин С (аскорбиновая кислота), мг	4,20	0	0
Калий, мг	508	325	424
Кальций, мг	159	62	59
Магний, мг	248	114	120
Натрий, мг	4	8	4
Фосфор, мг	557	368	366
Железо, мг	7,61	5,30	5,40
Селен, мкг	18,7	0	25,8

Содержание аминокислот в амаранте и в основных сельскохозяйственных культурах приведено в таблице 6.

Однако, несмотря на явные достоинства этой культуры, она находится еще на пути своего утверждения в качестве пищевого продукта. Так, например, физические свойства муки амаранта имеют значительные отличия от традиционных видов муки. Крахмал, составляющий основную массу амарантовой муки, имеет чрезвычайно мелкие гранулы (средний диаметр 1 мкм) и высокую водопоглощающую способность [4; 5], что влияет на качество хлеба и, соответственно, ограничивает ее использование в хлебопечении.

Таблица 6 – Аминокислотный состав злаковых культур [1]

Культура	Амарант	Пшеница	Рис	Кукуруза
Белок, %	17,8	13,0	7,5	10,3
Коэффициент пересчета на белок	5,7	5,7	6,0	6,25
Незаменимые аминокислоты, мг/100г				
Валин	766	580	400	416
Изолейцин	696	520	283	312
Лейцин	1027	970	689	1282
Лизин	1340	340	290	247
Метионин	626	180	150	120
Треонин	644	370	260	247
Триптофан	434	140	90	67
Фенилаланин	731	620	410	460
Заменимые аминокислоты, мг/100г				
Аланин	748	460	390	790
Аргинин	1409	630	600	411
Аспарагиновая кислота	1844	680	640	580
Гистидин	539	280	190	260
Глицин	1305	500	345	350
Глутаминовая кислота	2645	3680	1280	1780
Пролин	853	1190	360	1091
Серин	1131	600	315	514
Тирозин	626	420	290	380
Цистин	35	190	140	170
Общее количество аминокислот	17399	12350	7122	9946
Лимитирующая аминокислота, скор, %	Лизин – 78 Треонин – 80	Лизин – 48 Треонин – 71	Лизин – 70 Треонин – 87	Лизин – 44 Треонин – 60

Смирновым С.О. совместно с другими учеными [146; 147; 148; 149; 150] проделана большая работа по изучению технологий разделения зерна амаранта на анатомические части с получением различных видов пищевых добавок для создания продуктов питания общего и специального назначения, обладающих лечебными или профилактическими свойствами. Полученные продукты и их состав представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Сведения о пищевой и энергетической ценности продуктов размола зерна амаранта [147]

Наименование продукта		Белки	Жиры	Крах-мал	Клет-чатка	Зола	Минеральные вещества						Витамины			Энергетическая ценность
							Na	K	Ca	Mg	P	Fe	B ₁	B ₂	B ₅ /E	
							грамм в 100 г продукта						миллиграмм в 100 г продукта			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Амарант плющенный нативный	17,3	7,8	53,4	6,4	2,6	92	487	275	176	540	57	5,42	2,85	2,4/13,5	378
2	Хлопья амарантовые нативные	6,6	1,9	70,4	2,6	1,2	74	216	131	106	364	36	3,54	1,45	1,9/2,8	335
3	Крупка амарантовая зародышевая нативная	36,3	17,8	11,8	7,1	5,7	117	769	482	279	879	84	8,67	5,75	3,0/32,4	381
4	Мука амарантовая обдирная нативная	16,7	5,6	54,5	3,5	2,4	86	376	244	151	480	48	5,73	3,10	1,2/13,1	349
5	Мука амарантовая сортовая нативная	6,8	1,8	76,7	2,5	0,8	67	146	85	74	290	22	3,41	1,47	2,1/1,02	360
6	Мука амарантовая белковая нативная	38,6	20,1	11,4	4,2	4,5	93	731	462	250	849	72	8,38	6,05	3,2/36,1	398
7	Отруби амарантовые белковые нативные	23,3	8,6	8,5	18,1	7,8	214	920	561	395	997	131	9,83	4,53	2,5/18,7	277
8	Отруби амарантовые нативные	5,8	2,3	6,7	19,4	5,1	121	612	393	284	780	115	4,25	1,42	1,0/15,6	148
9	Крупка зародышевая амарантовая полуобезжиренная	38,8	10,8	12,6	7,0	5,2	113	765	477	274	870	84	8,54	5,70	3,0/5,82	330
10	Мука амарантовая белковая полуобезжиренная	41,4	12,2	13,5	3,4	4,3	95	738	462	253	848	76	8,34	5,91	3,2/6,346	343
11	Отруби амарантовые белковые полуобезжиренные	21,7	5,3	7,8	20,3	7,1	212	918	559	393	990	130	9,67	4,50	2,5/2,20	247

Высоким содержанием белка отличается мука белковая полуобезжиренная – 41,4 г. Нативная белковая мука содержит 38,6 г белка, нативная зародышевая – 36,3 г.

Подтверждена высокая водоудерживающая (ВУС) и жирудерживающая (ЖУС) способность амарантовой муки; по некоторым показателям (таблица 8) амарантовая мука превосходит соевую.

Таблица 8 – Физико-химические и функционально-технологические показатели амарантовой муки [147]

Наименование образца	Массовая доля, %				pH	ВУС, H ₂ O/г	ЖУС, масла/г
	Белка	Жиры	Углеводов	Золы			
Мука амарантовая белковая полуобезжиренная	41,0	12,4	13,6	4,6	6,62	3,1	2,8
Мука амарантовая сортовая (крахмалистая)	7,0	1,9	76,8	0,8	6,83	3,8	1,3
Мука цельносмолотая амарантовая	17,3	7,8	53,4	2,6	6,63	2,6	2,1
Мука соевая	46,5	18,7	11,8	5,4	7,2	3,5	2,0

Прогнозируется производство белковой муки из зародыша амаранта: содержание белка – 56,8%, жира – 26,3%, крахмала 6,4%; муки углеводной – белка – 4,2 г, жира – 1,8 г, крахмала – 88,9 г (при исходных показателях 17,3 г, 7,8 г, 53,4 г соответственно) [148; 149].

Учеными Кубанского государственного технологического университета разработана технология помола и разделения зерна амаранта на части для получения нативных продуктов, отличающихся высокой пищевой ценностью. Зерно амаранта, прошедшее очистку, подвергается плющению. Полученное плющенное нативное зерно амаранта (выход 95–98%) разделяется на хлопья амарантовые нативные (53–56%) и крупку зародышевую нативную (28–35%). Далее из хлопьев формируется мука амарантовая сортовая нативная (82–88%), а из крупки извлекается масло (6,5–7,5%) и формируется побочный продукт —

крупка зародышевая полуобезжиренная (28–35%), содержащая, соответственно, отруби белковые полуобезжиренные (18–25%) и муку белковую полуобезжиренную (75–82%). После ряда исследований установлено, что мука амарантовая белковая является эффективным белковым обогатителем и технологическим улучшителем при выработке хлебобулочных изделий из пшеничной муки. Мука сортовая нативная является эффективным улучшителем качества хлебобулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки [69; 128; 178].

Отдельное внимание стоит уделить экструдированному зерну амаранта. Экструзия как способ переработки занимает особое место, так как совмещает в себе термо-, гидро- и механическую обработку сырья и позволяет получать продукты нового поколения с заранее заданными свойствами. Экструзионная обработка расширяет ассортимент пищевых продуктов, снижает их микробиологическую обсемененность и повышает усвояемость [2; 28; 39; 53; 58; 112; 113; 203; 217].

Дополнительно, экструзия семян амаранта целесообразна вследствие мелкогабаритности зерна и из-за наличия плотной геммицеллюлозной оболочки на его поверхности, что в разы снижает его перевариваемость.

Биологическая ценность белка зерна амаранта после проведения экструзии повышается: коэффициент баланса азота составляет 0,86, коэффициент эффективности белка — 2,4–3,6, чистая утилизация белка — 78,8. Помимо этого, экструзия способствует распаду фитиновой кислоты амаранта, а, следовательно, повышению доступности его минеральных элементов. Биологическая ценность экструдированного амаранта составляет 72,9 [12].

В одном из исследований, крахмальная фракция (76,7%) муки амарантовой сортовой нативной подвергалась обработке на экструдере и дальнейшему исследованию во Всероссийском научно-исследовательском институте крахмалопродуктов. Результаты позволили позиционировать муку амарантовую экструдированную как биологически активную добавку к пище [8].

Согласно источнику [180], для амаранта предпочтительна сухая (холодная) экструзия ввиду ценного химического состава, пищевой безвредности и высокой стоимости сырья.

Подробный анализ влияния экструзии на амарантовую муку был проведен Алексеевой Е.И. [6; 9]. Рассматривались три белосемянных сорта амаранта - Крепыш, Кизлярец (селекция ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства») и Сэм (селекция Харьковского национального аграрного университета им. В.В. Докучаева, Украина). Предварительно мука амарантовая нативная обрабатывалась (увлажнение до 15-25%, отволаживание на протяжении 14 ч при температуре 25 °С). Экструзию осуществляли при температуре 150–160 °С, частоте вращения шнека 100–120 мин⁻¹ и диаметре матрицы экструдера 3 мм. Измельчали и просеивали через сетку металлическую №025.

В таблице 9 дан сравнительный анализ незаменимых аминокислот белка амаранта в муке амарантовой экструдированной в сравнении с данными ФАО/ВОЗ.

Таблица 9 - Аминокислотный состав экстрадатов трех сортов амаранта и данные ФАО/ВОЗ [6]

Аминокислота	Данные ФАО/ВОЗ идеального белка, мг/1 г белка	Мука амарантовая экструдированная сортовая					
		Сэм		Крепыш		Кизлярец	
		мг/100г	Скор, %	мг/100г	Скор, %	мг/100г	Скор, %
Треонин	40	340,9	85	431,5	107	274,8	68,7
Валин	50	506,4	100	697,3	138	382,9	76,6
Метионин	35	81,5	22,8	135,4	38,5	107,7	30,6
Лейцин	70	522,2	74,5	822,6	117	396,2	56,6
Изолейцин	40	635,0	160	646,7	160	314,7	78,6
Лизин	55	598,5	107	621,5	109	294,3	53,5
Триптофан	10	122,3	122	131,4	131	118,4	118,0
Фенилаланин + тирозин	60	454,5	75	474,9	86	704,3	117,3

Установлено, что сорт Сэм обладает высоким аминокислотным скором по следующим незаменимым аминокислотам: валин, изолейцин, лизин и триптофан. Амарант сорта Крепыш имеет высокое содержание треонина, валина, лейцина, изолейцина, лизина и триптофана. Кизлярец – по триптофану и фенилаланину с тирозином.

Сравнительный анализ изменения содержания нутриентов муки до и после экструзии приведен в таблице 10.

Таблица 10 - Физико-химические показатели, содержание витаминов, минеральных веществ и энергетическая ценность муки амарантовой нативной и экструдированной [9]

Наименование показателя	Мука амарантовая нативная	Мука амарантовая экструдированная
1	2	3
Массовая доля жира, %	4,5±0,6	1,6±0,6
Массовая доля белка, %	9,8±0,3	9,76±0,57
Массовая доля влаги, %	9,7±0,1	7,9±0,3
Массовая доля золы в абсолютно сухом веществе, %	1,85±0,1	1,72±0,22
Массовая доля пектиновых веществ, %	2,5±0,1	2,29±0,4
Крахмал, г	59,5±0,46	79,9±1,1
Энергетическая ценность, ккал	365±0,4	369±2,0
Витамины:		
В ₁ (±20) мг/100 г	3,09	0,02
В ₂ (±20) мг/100 г	1,38	0,28
РР (±30) мг/100 г	1,1	1,1
Минеральные вещества, мг/100 г		
Железо (±10)	20,5	9,96
Кальций (±10)	87,9	189,7
Магний (±10)	81,3	86,5
Фосфор (±10)	287,9	128,4
Натрий (±10)	71,1	16,2
Калий (±10)	880,6	504,1

Отмечена высокая водоудерживающая способность муки из экструдата амаранта, что дает возможность ее использования для выпечки хлеба и зерновых продуктов быстрого приготовления [9].

Динамика ферментативного гидролиза муки нативной и экструдированной показала, что последняя лучше поддавалась ферментативному гидролизу альфа-амилазой. При равной продолжительности процесса, содержание редуцирующих веществ составляло для нативной амарантовой муки – 15,3%, для экструдированной – 18,9% [5].

Но, несмотря на ряд успешно проведенных исследований, активное внедрение экструзии в отечественной пищевой промышленности сдерживается рядом факторов [4].

В целом, состав и свойства различных частей амаранта обосновывают перспективы его использования в пищевой промышленности. При этом необходимо отметить существенные различия состава в зависимости от сортовой принадлежности и его технологической обработки.

1.3 Применение амаранта и продуктов его переработки в технологиях пищевых продуктов на основе муки

Ввиду своего богатого состава амарант находит широкое применение в рецептурах пищевых продуктов. Так, известно его успешное применение в продукции мясной промышленности, молочной, масло-жировой, кондитерской и других [22; 30; 34; 72; 90; 130; 133; 152].

Однако многочисленными источниками подтверждено предельное улучшение органолептических показателей и увеличение содержания белка за счет добавления муки из семян амаранта в технологии хлебобулочных, макаронных и мучных кондитерских изделий [7; 41; 188].

Исследованы возможности применения амаранта в рецептурах макаронных изделий. Учеными Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова установлено снижение продолжительности варки

макаронных изделий, а также уменьшение потери сухих веществ, при внесении в рецептуру до 10% муки из семян амаранта и до 5% муки из шрота амаранта [187]. Исследование ставропольских ученых показало, что внесение 5-10% амарантовой муки к пшеничной муке повышает пищевую ценность макаронных изделий, при этом содержание белка увеличивается на 2,4%, жира – на 59%, клетчатки – на 63%, минеральных веществ – на 56,4% [54]. Специалистами института хлебопекарной промышленности выявлено, что добавление в макаронное тесто продуктов переработки амаранта овощных и зерновых сортов способно не только увеличить биологическую ценность готовых изделий, но и уменьшить показатели микробиологической обсемененности готовых макаронных изделий [116].

Исследование использования цельносмолотой амарантовой муки в рецептуре макаронных изделий ведет к повышению содержания клетчатки в них. СО₂-шрот семян амаранта в количестве 5% позволяет одновременно оптимизировать аминокислотный состав макаронных изделий и улучшить органолептические характеристики готовых изделий [35].

Дополнительно амарантовая мука может выступать в качестве антиоксидантной добавки для макаронных изделий, обогащенных бета-каротином [142; 177]. Доказано, что внесение 5–7% к массе муки белкового обогатителя – цельносмолотой муки из светлоокрашенных семян амаранта сорта Шунтук совместно с β-каротином и макаронным улучшителем Прима-Янтарь - способствует повышению эластичности макаронного теста, улучшению условий его прессования, варочных и структурно-механических свойств готовых изделий [179].

В целом, многочисленными исследованиями отмечается положительный эффект при замене части макаронной муки на амарантовую [24; 38; 61; 167; 168; 185].

Амарант используется и в качестве обогатителя хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. Изучено внесение амарантовой муки в состав круассанов [141]. Проработаны варианты внесения 7, 10 и 12% обогащающей муки. Отмечено, что 7% добавки не обеспечивает функциональную направленность

изделию, 12% снижает слоистость теста. За оптимальную дозировку приняты 10% амарантовой муки. Опытные образцы отличались повышенным содержанием белка, пищевых волокон, калия, кальция, магния, фосфора и витамина А. Аминокислотный скор круассанов «Жаклин» по лизину был несколько выше, чем у контрольного образца – соответственно 64% и 62%.

Исследовано введение амарантовой муки в количестве до 25% в рецептуру кекса «Столичный» [124]. Отмечено, что при доле нетрадиционной муки до 20% изделия имеют классический сдобный вкус, но максимальную кислотность и влажность. Установлено, что добавление 15% амарантовой муки является оптимальным – кексы соответствуют ГОСТ 15052-2014 по показателям влажности (21,3%), массовым долям общего сахара (22,5%), жира (20,1%), золы, нерастворимой в 10% растворе HCl (менее 0,1%). По сравнению с контрольным образцом содержание белков и пищевых волокон увеличивается на 4-5%, жиров – не более чем на 0,5%. Отмечается снижение усвояемых углеводов в пределах 1%.

Группой ученых [119] исследована возможность совместного использования шрота амаранта и коллагенового гидролизата в производстве пряников. Заварные пряники «Радуга» с заменой 15% муки на амарантовый шрот, а меланжа – на коллагеновый гидролизат имели улучшенные органолептические и физико-химические показатели качества, более высокую биологическую ценность (63,65% против 47,53% в контроле), сбалансированный аминокислотный состав, оптимизированный состав витаминов и минеральных веществ. В них значительно снизилось количество холестерина.

Учеными Кубанского государственного аграрного университета [67; 68] разработана и апробирована технология и рецептура молочного коржика и пряников с добавлением муки амаранта и пектина. Установлено, что пектин амаранта характеризуется высоким содержанием D-галактуроновой кислоты (82,1%) и метоксильной составляющей (10,9–11,2%), что обеспечивает хорошие структурообразующие свойства и, следовательно, высокие органолептические показатели изделий. Полноценность белка амаранта значительно повышает пищевую ценность изделий.

Изучается использование амарантовой муки в составе сахарного печенья [96; 188]. Отмечено, что внесение амарантовой муки повышает степень удовлетворения суточной потребности взрослого человека при его употреблении в витамине В₁ (тиамине). Значение повышается по сравнению с контролем - в 6 раз. В витамине В₂ (рибофлавине) – в 15 раз, витамине Е (токофероле) – 19 раз [188].

Подтверждена возможность внесения 25% муки из амаранта в технологию изделий «Пирожки с яблоками и корицей». Отмечено повышение содержания легкоусвояемых безглютеновых белков (до 7,9–8,4г/100г полуфабриката) и пищевых волокон (до 1,2–3,4г/100г полуфабриката), снижение общего содержания жиров (в 4–5 раз) [154].

Многими исследованиями доказана целесообразность использования амарантовой муки в хлебопекарном производстве [25; 59; 111].

Некоторые сорта амаранта имеют темноокрашенные семена и их применение рекомендуется в рецептурах хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки [29; 175].

В исследовании [25] проводили замену 5 и 10% ржаной обдирной муки на цельносмолотую амарантовую. Отмечены незначительное потемнение корок и мякиша и более развитая пористость, что говорит о хорошей газообразующей способности теста в процессе брожения. Сделан вывод, что использование амарантовой муки не ухудшает органолептические показатели хлеба Дарницкого.

В работе [186] проанализирован ряд смесей из ржано-пшеничной муки с добавлением амарантовой крупяной муки в дозировке от 2,5 до 15%. Оптимальная дозировка 10% не только повышает качество хлеба, но и сохраняет показатели влажности (45,9%), кислотности (5,5 град) и пористости (64%) в соответствии ГОСТ 31807-2012 «Изделия хлебобулочные из ржаной и смеси ржаной и пшеничной муки. Общие технические условия». Дополнительно увеличивается удельный объем формового хлеба – с 192 см³/100 г у контрольного образца до 207 см³/100 г у изделия из смеси с 10% нетрадиционной муки [176].

Специалистами Воронежского государственного университета инженерных технологий проведено исследование по определению влияния амарантовой муки на свойства теста, качество хлеба из биоактивированного зерна пшеницы и установлению её рациональной дозировки. Оценка качества хлеба показала, что наилучшей пористостью (57%, что на 3% больше, по сравнению с контрольным образцом) обладал образец, приготовленный с добавлением 6% амарантовой муки. При увеличении дозировки амарантовой муки до 7% наблюдалось незначительное уменьшение удельного объёма и пористости хлеба на 1,8 и 1% соответственно, по сравнению с опытным образцом с добавлением 6% амарантовой муки. Добавление 6% амарантовой муки к массе нативного зерна позволит получить хлеб улучшенного качества со слабо выраженным запахом и привкусом амаранта [11].

При внесении 7% амарантовой муки в рецептуру батона нарезного отмечено сохранение установленных стандартом ГОСТ 27844-88 требований к влажности, кислотности и пористости (41,0%, 2,5 град и 74% соответственно) и улучшение вкусовых качеств [182].

Результаты исследований [19] подтвердили возможность использования амарантовой муки в количестве 7–10% и смесей, включающих в свой состав 2–3% сухой пшеничной клейковины и 2–3% солодового экстракта от массы пшеничной муки в целях улучшения качества выпекаемого хлеба. При дальнейшем увеличении массовой доли растительной добавки до 30% отмечалось незначительное снижение показателей качества выпекаемого хлеба на фоне его обогащения ценными макро- и микронутриентами.

И.М. Жарковой совместно с Ю.Н. Труфановой установлено превышение показателей биологической ценности белка хлеба из амарантовой муки первого сорта по сравнению с аналогичными показателями белка пшеничного и ржано-пшеничного заварного хлеба на 23,2% и 12,2% соответственно [51].

Белорусскими учеными [89] было проведено подробное исследование влияния амарантовой муки (ТУ 9293-006-18932477-2004) при добавлении в рецептуры пшеничного и ржано-пшеничного хлеба. Вносили от 5% до 30%

нетрадиционной муки. Введение 5-20% амарантовой муки в рецептуру хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки практически не влияло на его органолептические свойства, 25 и 30% - вызывало понижение потребительских свойств. 10% добавки ухудшали внешний вид пшеничного хлеба.

При оценке физико-химических показателей (таблицы 11 и 12) установлено, что по мере увеличения количества вносимой амарантовой муки от 20% наблюдалось снижение пористости мякиша хлеба на 1,2–3,4%. Наибольшее изменение этого показателя отмечалось при максимальном внесении муки амарантовой. Влажность, кислотность и формоустойчивость мякиша во всех пробах практически не изменялись.

Таблица 11 – Физико-химические показатели качества образцов хлеба пшенично-ржаного, содержащих амарантовую муку [89]

Показатель	Содержание амарантовой муки (в % к массе смеси ржаной и пшеничной муки)						
	контроль	5	10	15	20	25	30
Влажность мякиша, %	45,5± 0,1	46,9± 0,3	47,0± 0,5	45,9± 0,6	45,2± 0,3	46,0± 0,1	45,0± 0,1
Кислотность мякиша, град	8,0± 0,1	7,0± 0,1	7,0± 0,1	9,0± 0,1	8,0± 0,1	9,0± 0,1	9,0± 0,1
Пористость, %	42,2±0,3	42,3± 0,4	41,0± 0,6	46,3± 0,3	40,4± 0,5	40,9± 0,8	40,4±0,4

Таблица 12 - Физико-химические показатели качества образцов хлеба пшеничного, содержащих амарантовую муку [89]

Показатель	Содержание амарантовой муки (в % к массе пшеничной муки)						
	контроль	5	10	15	20	25	30
Влажность мякиша, %	42,7±0,9	43,1± 0,3	42,4± 0,4	42,9± 0,6	42,9± 0,8	42,2± 0,8	42,4± 0,1
Кислотность мякиша, град	3,0±0,2	3,0±0,1	3,0± 0,1	3,0± 0,2	3,0± 0,1	3,0± 0,2	3,0± 0,2
Пористость, %	65,8±0,7	65,6± 0,5	64,5± 0,2	64,0± 0,2	63,0± 0,2	62,4± 0,2	60,5±0,2

Дополнительно отмечено, что внесение амарантовой муки в изделия способствует замедлению процесса ретроградации крахмала и тем самым увеличивает сроки хранения продукта.

Группой ученых дана характеристика свойств композитных смесей муки пшеничной первого сорта с различным количеством муки амарантовой. Отмечено, что внесение 3% амарантовой муки в рецептуру не оказывает влияния на органолептические показатели хлеба. 5% амарантовой муки в смеси делают корку румяной, а мякиш слегка желтоватым, с ровнодисперстной тонкостенной пористостью. Содержание жира составляет в среднем 3,53%, белка – 11,59%, золы – 1,9%. Из 100 кг композитной смеси, состоящей из 95-97% муки пшеничной первого сорта и 3-5% муки амарантовой, можно получать 121,3 кг готовых изделий с объемным выходом 3-5,0 см³ /100 г, пористостью на уровне 75,4-75,6%, влажностью - 39,0-39,7% со значениями кислотности в пределах 1,8-2,0 град [41].

Согласно данным [57], добавление от 2 до 8% амарантовой цельносмолотой муки в рецептуру пшеничного хлеба придавало образцам приятный ореховый привкус и аромат, увеличивало пористость на 0,7-3,8%, кислотность хлеба достигала 1,7 град. Наилучшими показателями качества характеризовались пробы хлеба с добавлением цельносмолотой амарантовой муки в количестве 4% от массы пшеничной муки. При этом влажность мякиша составила – 38,6%, пористость 78,8%, кислотность – 1,5 град.

Отмечена актуальность использования амарантовой муки с пшеничной мукой с крепкой клейковиной. Дополнительно, амарантовая мука способствует повышению газообразования в тесте, особенно при использовании муки с пониженной газообразующей способностью [111].

Проведено сравнение образцов хлеба для диетического питания – из рисовой, амарантовой, овсяной муки с добавлением ламинарии тонкого помола. Вкус, аромат, внешний вид и поверхность изделия из амарантовой муки имели высшие баллы. Влажность и кислотность образцов были в пределах нормы. Дополнительно, образец хлеба с амарантовой мукой отличался наивысшим содержанием белка – 33,59 г на 250 хлеба [172].

Работниками Дальневосточного федерального университета рассмотрена технология применения измельченных семян амаранта в хлебопечении на примере булочек. Семена вносили с заменой пшеничной муки в количестве 5-30%, после выпекания сравнивали с контрольным образцом булочки (без внесения амарантовых семян). Установили, что добавление амаранта в количестве 5-15% способствует улучшению качества хлебобулочных изделий и может быть использовано в технологии хлебопечения [129].

Уажановой Р.У. и Кизатовой М.Ж. разработана технология производства хлеба функционального назначения с использованием амарантового жмыха и масла. Хлеб, приготовленный из смеси пшеничной муки и продуктов переработки амаранта при соотношении 97:3-85:15, имеет повышенное содержание белка (на 3-10%), витаминов группы В, микро- и макроэлементов, соотношение кальция и фосфора от 1:1,8 до 1:2,9 и улучшенный аминокислотный скор лизина и треонина. Добавление 15% амарантового жмыха и 5% масляного экстракта амаранта к массе муки позволили улучшить органолептические и физико-химические показатели готовых изделий, повысить биологическую ценность на 24,5%, получить хлеб с максимально сбалансированным аминокислотным составом, повысить намокаемость и удельный объем, улучшить усвояемость готовых изделий функционального назначения [164].

Группой ученых из Краснодарского края было оценено использование биоактивированных семян амаранта в хлебопечении. Полученные образцы хлеба имели улучшенные органолептические показатели, большой удельный объем, пористость и лучшие структурно-механическими свойствами при оптимальной дозировке биоактивированного продукта 9% к массе муки [181].

Использование амарантовой муки в хлебопечении также увеличивает количество пищевых волокон в продукте. Так, согласно исследованию [44], внесение 10% амарантовой муки позволяет обогатить хлеб пищевыми волокнами при сохранении соответствия требованиям нормативных документов к хлебу общего назначения. Добавление 15% нетрадиционной муки приводило к заметному снижению пористости.

В своем исследовании [66] Н.В. Кияшко сравнивала различные сорта амаранта (Гигант, Воронежский, Харьковский-1) для использования в рецептуре пшеничного хлеба, а также определяла оптимальную дозировку вносимой муки. По критериям урожайность и содержание белка был выбран сорт Харьковский-1 (29,0 ц/га, 15,7% - в условиях Приморского края). Затем получена цельносмолотая мука с размером частиц 0-2 мм. Среди модельных смесей с добавлением 10, 20, 30, 40% нетрадиционного вида муки, согласно дегустационной оценке, наивысший балл (4,86) имел опытный образец с 20% амарантовой муки в составе. Влажность образца хлебобулочного изделия составляла 44,4%, кислотность – 2,8 град, пористость – 64,2%, что соответствовало требованиям ГОСТ Р 58233-2018.

Другим исследованием [45] также подтверждена беспрепятственность внесения 20% амарантовой муки в рецептуру пшеничного хлеба для повышения пищевой и биологической ценности.

Отдельное внимание стоит уделить амаранту как сырью для производства безглютеновых продуктов. Такая продукция необходима для питания людей, больных целиакией – в результате повреждения тонкой кишки фракцией глютена белка возникает его непереносимость. Также существует мнение, что безглютеновая диета эффективна для улучшения здоровья - такое питание способствует существенному снижению веса, уменьшению или исчезновению таких симптомов и заболеваний, как экзема, головная боль, депрессия, проблемы с настроением и хроническая усталость [49; 108].

Рядом ученых из Воронежского государственного университета инженерных технологий разработаны рецептуры и отработаны технологические параметры производства безглютенового хлеба и мучных кондитерских изделий: кексов, печенья, пряников, хлебцев, вафель, бисквитов [43; 47; 56; 95; 101; 107]. Эффективность введения разработанных изделий в безглютеновую диету подтверждена в ходе клинических исследований, проведенных на базе детской клинической больницы и кафедры пропедевтики детских болезней и педиатрии Воронежского государственного медицинского университета. Показано, что использование в течение 9-12 месяцев продуктов из зерна амаранта

сопровождалось уменьшением количества детей с дефицитом массы тела, патологическим низким ростом, со сниженным уровнем ионизированного кальция, нормализацией уровня железа, цинка, меди в сыворотке крови, положительной динамикой минеральной плотности костной ткани [14; 15].

Налажено производство безглютеновых макаронных изделий на основе амарантовой муки, которые традиционно производились из муки с высоким содержанием клейковины [126; 204].

В Мексике, где исторически потребление амаранта высоко, экструдированное зерно используют в производстве казинаков и попкорна [147]. Белорусскими разработчиками предлагается внесение 5% муки экструдированной амарантовой в зерновой продукт быстрого приготовления. Комбинирование белков амаранта и пшеницы позволило добиться максимальной биологической ценности продукта [6].

Экструзионная обработка широко используется при пищекокцентратном производстве. Экструзию отличает непрерывность технологического процесса, относительно низкий удельный расход энергии, небольшие капитальные затраты, компактность и универсальность [97]. Сохранение доступных аминокислот и усвояемость белков экструдатов возможна при мягких физических условиях экструзии – температуре ниже 180 °С и сокращении времени экструзии [100].

Рядом исследователей для обогащения хлебобулочных изделий предложена биологически ценная текстурированная композиция, состоящая из 25% углеводно-белковой фракции амаранта, 65% крупки ячменя и 10% крупки гороха, получаемая в экструдере при следующих параметрах: температура внутри шнековой камеры 150-160 °С, на выходе 120-125 °С, диаметр выходных отверстий матрицы 11 мм. Полученную экструдированную массу охлаждали, измельчали и вносили на стадии замеса теста в дозировках 5-11%. Результатом внесения стало существенное замедление черствения готовых изделий за счет увеличения водопоглотительной способности крахмала, вносимого в составе текстурированной композиции [109; 180].

В целом можно отметить успешное применение амаранта в пищевых технологиях благодаря подробному изучению свойств сырья. Включение амаранта в традиционные рецептуры изделий массового потребления способствует повышению их пищевой и биологической ценности, что является одним из способов корректировки несбалансированности рационов питания нашей страны.

Таким образом, обзор рынка обогащенных изделий показывает заинтересованность в увеличении доли обогащенных продуктов не только на государственном уровне, но и среди самих потребителей. Для корректировки рационов питания населения требуется определенное насыщение хлебобулочного ассортимента обогащенными изделиями (до уровня 50% от общего объема [86]), в то же время такие изделия должны отвечать требованиям потребителей к внешним и вкусовым характеристикам, их стоимости.

Рассматривая использование амаранта в качестве обогащающего источника хлебобулочных изделий, стоит отметить значимость выбора сорта, который может определить направление обогащения. Дополнительно, необходимо рассмотреть возможность снижения влияния факторов, ограничивающих применение сырья в традиционных технологиях.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Организация исследований и схема проведения

Основная часть экспериментальных исследований проводилась на базе кафедры товароведения и экспертизы товаров факультета технологии и товароведения, лаборатории биологических методов анализа и ветеринарной клиники ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Дополнительно исследования осуществлялись на базе кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), в условиях лабораторий и испытательных центров ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии (ФГБНУ «ВНИВИПФиТ»), Центра коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (ЦКПНО ВГУ), ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева» (ФГБНУ НИИСХЦЧП им. В.В. Докучаева), а также на базе Центра пищевых технологий Университета Восточного Сараево, республика Босния и Герцеговина.

Объектами исследования на различных этапах работы являлись результаты анализа литературных источников, результаты исследования потребительских предпочтений относительно хлебобулочных изделий, зерно амаранта сортов Воронежской селекции и селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», экструдат амаранта сорта Универсал, мука из экструдата амаранта и мучные смеси муки пшеничной хлебопекарной высшего и первого сортов с амарантовой мукой из экструдата амаранта, лабораторные пробы хлеба.

Схема исследований представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема исследования

2.2 Сырье, используемое для проведения исследований

В качестве объектов исследований применяли амарант, выращенный в коллекционном питомнике Воронежского государственного аграрного университета. По географическому расположению питомник находится в лесостепной зоне ЦЧР. Почва опытного участка – выщелоченный среднесуглинистый чернозем. Обеспеченность ее подвижными формами азота, фосфора и калия средняя и высокая. Содержание гумуса – 4,5%, pH – 5,4-5,8. Сумма осадков за период с температурой выше +10 °С составляет 250-260 мм. Общая сумма активных температур 2581 °С. Посев проведен во второй половине мая.

Исследовали сорта амаранта Воронежской селекции и селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»: Воронежский-36, Воронежский, Император, Рубин, Универсал, Гигант, Добрыня, Валентина.

Сбор и обработку зерна проводили вручную.

Перечень сырья, используемого для проведения исследований, представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Сырье, используемое для проведения исследований

Наименование сырья	Нормативный документ, регламентирующий качество используемого сырья
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта	ГОСТ 26574-2017
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта	ГОСТ 26574-2017
Дрожжи хлебопекарные прессованные	ГОСТ Р 54731-2011
Соль поваренная пищевая	ГОСТ Р 51574-2018
Вода питьевая	ГОСТ 32220-2013

Все виды сырья, применяемые в исследованиях, отвечали требованиям соответствующих национальных, межгосударственных стандартов и других нормативных и технических документов.

По гигиеническим показателям безопасности используемое сырье соответствовало требованиям Технических регламентов Таможенного Союза: ТР

ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна».

2.3 Методы оценки состава, свойств и показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий

Для решения поставленных задач применяли стандартные, общепринятые и специальные методы исследования, в том числе органолептические, физико-химические, реологические, квалитметрические.

Экструдат получали в условиях лаборатории кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств ВГУИТ, на лабораторном универсальном малогабаритном экструдере (ЭУМ-1) при температуре 110-120 °С, продолжительности 30-40 с, частоте вращения основного шнека $38,2 \pm 2,0 \text{ с}^{-1}$, шнека-дозатора – $11,4 \pm 1,0 \text{ с}^{-1}$, диаметре выходного отверстия матрицы 3 мм. Размол проводили на лабораторной мельнице. Крупность муки определяли по ГОСТ 27560-87, используя сита по ГОСТ 4403-91.

Для изучения взаимодействия муки из экструдата амаранта и муки пшеничной хлебопекарной составляли модельные смеси с соотношением муки пшеничной хлебопекарной (высшего/первого) сорта и муки из экструдата амаранта в следующих соотношениях, в масс. долях: 95:5, 90:10; 85:15, 80:20, 75:25, 70:30.

Состав зерна амаранта определяли стандартизированными методами из таблицы 14 в аккредитованных лабораториях ФГБНУ «ВНИВИПФиТ».

Таблица 14 – Перечень методик

Наименование показателя/ей	Нормативный документ / наименование метода исследования
1	2
Массовая доля влаги	ГОСТ 13586.5-2015
Массовая доля белка	ГОСТ 10846-91
Массовая доля жира	ГОСТ 29033-91
Массовая доля целлюлозы	ГОСТ 31675-2012

Продолжение таблицы 14

1	2
Массовая доля общего сахара (моно- и дисахаридов)	ГОСТ 15113.6-77
Зольность	ГОСТ 27494-2016
Содержание фосфора	ГОСТ 26657-97
Содержание кальция	ГОСТ 26570-95
Содержание меди	ГОСТ 30692-2000
Содержание цинка	ГОСТ 30692-2000
Содержание железа	ГОСТ 32343-2013
Содержание марганца	ГОСТ 32343-2013
Содержание перевариваемого протеина	метод PDCAAS [224]

Описание методов определения функционально-технологических свойств представлено в таблице 15.

Таблица 15 – Методы определения функционально-технологических свойств [73; 74, 159]

Показатель	Описание определения
1	2
Жиросвязывающая способность (ЖСС)	Брали навеску муки (0,5 г), рафинированное подсолнечное масло (5 см ³), помещали в предварительно взвешанную центрифужную пробирку и перемешивали до исчезновения комочков. Оставляли в покое на 5 минут. Затем помещали в центрифугу и центрифугировали в течение 15 минут со скоростью 1500 мин ⁻¹ . Неадсорбированное масло удаляли. ЖСС определяли как отношение массы масла, связанного мукой, к исходной массе последней.
Жироэмульгирующая способность (ЖЭС)	Брали навеску муки (1 г), дистиллированную воду (25 см ³), суспендировали в мешалке в течение 1 мин при скорости 4000 мин ⁻¹ . Затем 25 см ³ рафинированного подсолнечного масла добавляли к смеси и эмульгировали в течение 2 минут со скоростью 7500 мин ⁻¹ . Затем эмульсию разделяли на 3 одинаковые части, помещали в 3 калиброванные пробирки и центрифугировали в течение 5 мин со скоростью 2000 мин ⁻¹ . ЖЭС определяли как отношение объема эмульсии к объему общей системы, выраженное в процентах.

Продолжение таблицы 15

1	2
Растворимость в зависимости от температуры	Брали навеску муки (5 г), дистиллированную воду (30 см ³), помещали в колбу на 50 см ³ и ставили на водяную баню с установленной температурой на 30 минут, периодически встряхивая. Затем суспензию разливали в центрифужные пробирки и центрифугировали в течение 15 минут при скорости 1500 мин ⁻¹ . Центрифугат собирали, осадок экстрагировали водой, сливая в колбу. Уровень содержимого колбы доводили до метки дистиллированной водой. На рефрактометре определяли количество сухих веществ в растворе. Растворимость рассчитывали как количество сухих веществ, перешедших в раствор, выраженное в процентах.
Водосвязывающая способность(ВСС)	Брали навеску муки (1 г), дистиллированную воду (10 см ³), помещали в предварительно взвешенную центрифужную пробирку и перемешивали до исчезновения комочков. Оставляли в покое на 30 минут. Затем помещали в центрифугу и в течение 5 минут центрифугировали со скоростью 1500 мин ⁻¹ . Неадсорбированную воду сливали и пробирки взвешивали. ВСС рассчитывали как отношение массы воды, связанной мукой, к исходной массе последней.
Растворимость в зависимости от pH	Брали навеску муки (1 г), растворитель с заданным pH (5 и 35 см ³). Муку и 5см ³ растворителя размешивали, затем добавляли остальную часть раствора и перемешивали в течение 1 часа. Затем раствор переносили в мерную колбу на 50 см ³ и соответствующим растворителем доводили её объем до метки. Содержимое колбы центрифугировали в течение 15 минут со скоростью 1500 мин ⁻¹ . На рефрактометре определяли количество сухих веществ в растворе. Растворимость рассчитывали как количество сухих веществ, перешедших в раствор, выраженное в процентах.

Определение сорбционной способности экструдата осуществляли оптическим методом. Для проведения сорбции брали навески измельченного экструдата (фракция с размером частиц 0,125 мм и менее) массой 0,5 г на

технических весах с точностью до 0,01 г и помещали в колбы, затем добавляли 50 см³ раствора сульфата меди с соответствующими концентрациями. Сорбцию проводили в течение 30 мин при перемешивании. Растворы отфильтровывали через складчатый фильтр. Затем определяли содержание меди в исходных растворах и фильтрах на фотоэлектроколориметре КФК-2.

Для определения изменения качественного состава зерна амаранта после экструдирования использовали метод адсорбционной инфракрасной спектроскопии. Инфракрасные спектры поглощения в диапазоне от 400 до 4000 см⁻¹ получены на приборе ИК-Фурье спектрометр Bruker VERTEX 70 в режиме отражения [42].

Изучение влияния муки из экструдата амаранта на хлебопекарные свойства модельных смесей с мукой пшеничной хлебопекарной высшего и первого сорта осуществляли методами, представленными в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень показателей хлебопекарных свойств мучных смесей с мукой из экструдата амаранта и методов их исследования

Наименование показателя/ей	Нормативный документ/наименование метода исследования
Массовая доля сырой клейковины	ГОСТ 27839-2013
Качество сырой клейковины	ГОСТ 27839-2013
Автолитическая активность	ГОСТ 27495-87
Белизна	ГОСТ 26361-2013
Зольность	ГОСТ 27494-2016
Вязкость	ГОСТ ISO 7973-2013
Водопоглощение и реологические свойства	ГОСТ ISO 5530-2-2014, ГОСТ ISO 5530-1-2013, ГОСТ Р 51414-99
Сила муки	По расплываемости шарика теста [13]
Газообразующая способность	По методу из [13]
Газоудерживающая способность	По методу из [13]

В качестве контрольного образца в работе был принят хлеб белый из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта по ГОСТ 26987-86, приготовленный в соответствии с рецептурой и технологическими параметрами по безопасной

технологии [140; 174]. Рецепттура и технологические параметры указаны в таблице 17.

Таблица 17 – Рецепттура и параметры приготовления хлеба белого из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта (контроль)

Наименование компонента, параметр технологического процесса	Хлеб белый из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, г	200
Соль поваренная пищевая, г	2,6
Дрожжи хлебопекарные прессованные, г	3
Вода, г	По расчету
Температура теста, °С	28-30
Продолжительность брожения теста, мин	120-150
Температура расстойки, °С	35-40
Продолжительность расстойки, мин	30
Температура выпечки, °С	180-200
Продолжительность выпечки, мин	35

Для определения органолептических и физико-химических показателей проб хлебобулочных изделий применяли методы, приведенные в таблице 18.

Таблица 18 – Методы исследования хлеба

Наименование показателя/ей	Нормативный документ/наименование метода исследования
Органолептические показатели	ГОСТ 5667-65
Пористость	ГОСТ 5669-96
Кислотность	ГОСТ 5670-96
Влажность	ГОСТ 21094-75
Крошковатость	Метод Ройтера [121]

Проводилось исследование влияния зерна амаранта сортов Валентина и Универсал и экструдата зерна сорта Универсал на физиологическое состояние лабораторных животных. Обслуживание животных и экспериментальные исследования осуществляли в условиях ветеринарной клиники Воронежского ГАУ в соответствии с «Принципами надлежащей лабораторной практики» (ГОСТ 33044-2014), международными правилами, принятыми Европейской конвенцией

по защите позвоночных животных (Страсбург, 1986) и Директиве 2010/63/EU Европейского парламента и совета Европейского Союза от 22 сентября 2010 года по охране животных, используемых в научных целях.

Эксперименты проводились на 12 конвенционных половозрелых самцах белых крыс линии Wistar с учетом возраста (8 месяцев), физиологического состояния и живой массы (240-260 г). Животные находились в стандартных пластиковых клетках на подстилке из мелких древесных опилок. Температура воздуха в виварии - 20-24 °С, влажность – 65±5%, объем воздухообмена (вытяжка:приток) – 8:10, световой режим (день:ночь) – 1:1. Соблюдалась стандартная для лабораторных животных диета по ГОСТ Р 50258-92 согласно правилам лабораторной практики при проведении доклинических исследований в РФ (ГОСТ 3 51000.3-96). Доступ к воде и пище был открытым и постоянным.

Животные были разделены на 4 группы численностью 3 крысы в 1 группе (клетке). До начала эксперимента крыс кормили стандартным кормом в течение 2 недель 1 раз в день утром. Животные 1-ой (контрольной) группы получали 90 г основного рациона. Животные второй группы - по 75 г основного рациона и по 15 г зерна Валентина (на каждую особь), третьей группы - по 75 г основного рациона и по 15 г экструдата Универсала, четвертой - по 75 г основного рациона и по 15 г зерна Универсала.

Через 14 суток животных контрольной и опытных групп подвергали эвтаназии передозировкой хлороформом с соблюдением принципов гуманности, изложенных в директивах Европейского сообщества (86/609/ЕЕС) и Хельсинкской декларации, и в соответствии с требованиями правил проведения работ с использованием экспериментальных животных.

Материалом исследования служили кровь, желудок, печень и почки подопытных животных. Для гистологического исследования образцы тканей фиксировали в 10%-ном растворе нейтрального формалина. Зафиксированные образцы промыв в проточной воде, подвергали обезвоживанию путем помещения исследуемого материала в спирты с возрастающей концентрацией и заливали в парафин. Гистологические поперечные срезы толщиной около 5 мкм окрашивали

гематоксилин-эозином [55, 103; 115]. Морфологическое исследование гистологических препаратов проводили на микроскопе «Биомед-5» с цифровой цветной камерой. Морфологическую оценку состояния ткани органов осуществляли на основе морфометрического исследования гистологических срезов.

2.4 Моделирование процессов и статистическая обработка результатов исследований

В работе использовались методы математического планирования эксперимента и обработки данных с использованием пакетов прикладных программ IBM SPSS Statistics 26.0, Statistica, Microsoft Excel 2020, Photoshop CS2, Google Form.

При проведении экспериментальных исследований опыты проводили в 3-5 кратной повторности. Результаты обрабатывались статистическими методами с доверительной вероятностью 0,95. Ошибка опыта не превышала 5%. В таблицах и на графиках представлены средние арифметические значения полученных величин.

В работе предложена методика расчета хлебопекарной смеси для обогащенного хлебобулочного изделия с двумя направлениями обогащения, один из которых является основным, а второй используется для дополнительного повышения пищевой ценности по показателю, не связанному с основным. Методика содержит математические модели для расчета долей компонент, и модели для анализа полученных решений. Цель анализа – определить чувствительность полученных решений к нестабильности физико-химических свойств компонентов, что особенно характерно для обогащающих добавок.

Методика включает постановку задачи расчета компонентов смеси в виде задачи стохастического программирования в М–постановке, т.е. оптимизируется математическое ожидание значения целевой функции при заданных значениях вариации коэффициентов и вероятности выполнения ограничений.

3 ИЗУЧЕНИЕ ЛОЯЛЬНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К ОБОГАЩЕННЫМ ХЛЕБОБУЛОЧНЫМ ИЗДЕЛИЯМ

Обсуждая проблему совершенствования состава обогащенных хлебобулочных изделий, целесообразно изучить отношение потребителей к обогащенным изделиям и к хлебобулочной продукции в целом. В задачи проведенного исследования входило определение:

- частоты потребления хлебобулочных изделий;
- популярности изделий по видам;
- удовлетворенности потребителей хлебобулочными изделиями;
- факторов, влияющих на выбор продукта;
- отношения к изменению стоимости обогащенных изделий;
- возможного расширения ассортимента продуктов с корректировкой пищевой ценности.

Изучение лояльности потребителей к обогащенной продукции проводилось в несколько этапов:

- сбор данных (анкетирование);
- систематизация информации, её обработка;
- анализ полученных результатов.

Для сбора данных с помощью Google Form была разработана анкета, состоящая из основной части вопросов и блока вопросов с классификацией респондентов на группы (Приложение 1).

Статистическую обработку результатов маркетинговых исследований проводили с помощью пакета прикладных программ «Statistica».

Размер выборки респондентов определяли по формуле в зависимости от численности населения г. Воронежа [99]:

$$n=1/(\Delta^2+(1/N)), \quad (1)$$

где Δ – допустимая ошибка; N – размер генеральной совокупности.

Учитывая, что допустимая ошибка $\Delta = 5\%$, вероятность $P = 0,954$, коэффициент соответствия доверительной вероятности $t = 2$, получили: $n = 399$, т.е. размер выборки должен составлять не менее 399 человек.

Опрос проводился в 2018 году, выборка составила 400 респондентов и соответствовала генеральному распределению населения города [134]. Распределение респондентов представлено в таблице 19.

Таблица 19 – Распределение респондентов

Возрастные группы	Распределение по половому признаку, %	
	Мужчины	Женщины
18-25 лет	2,81	3,31
26-45 лет	17,13	20,19
46-60 лет	11,73	13,83
Больше 60 лет	14,20	16,74

По результатам опроса была выявлена частота потребления респондентами хлебобулочных изделий (рисунок 2). Отмечено, что более трети опрошенных потребляют изделия каждый день, более 90% - чаще раза в неделю.

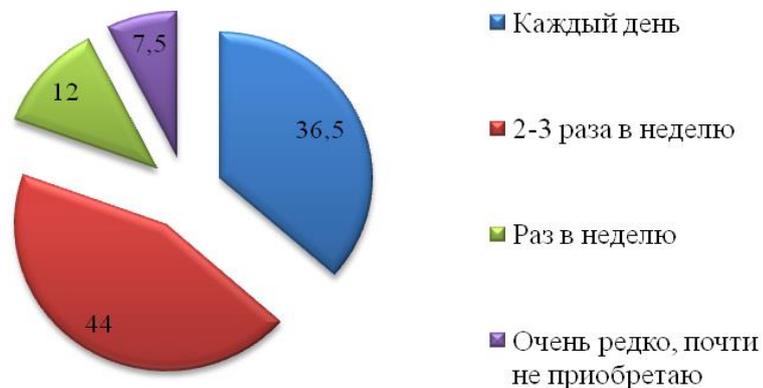


Рисунок 2 – Распределение респондентов по частоте потребления хлебобулочных изделий, % от числа опрошенных

На рисунке 3 представлено распределение потребления хлебобулочных изделий по видам. Большинство опрошенных – 226 человек (56,5%) – чаще всего потребляют хлеб, на втором месте по потреблению оказались булочные изделия (96 респондентов, 24%), на третьем месте – сдобные и слоеные изделия (56 респондентов или 14%).



Рисунок 3 – Распределение респондентов по видам потребляемых хлебобулочных изделий, % от числа опрошенных

На вопрос «Как Вы относитесь к изделиям с различными добавками, улучшающими пищевую ценность продукта?» 38% ответили, что периодически покупают, 8,5% предпочитают только такие изделия, 6,5% хотели бы попробовать и 47% респондентов предпочитают потреблять традиционные изделия (рисунок 4).



Рисунок 4 – Результаты ответов на вопрос «Как Вы относитесь к изделиям с различными добавками, улучшающими пищевую ценность продукта?», % от числа опрошенных

Определяли отношение к стоимости обогащенных хлебобулочных изделий. На вопрос «В пределах какой цены Вы бы хотели приобрести обогащенное

хлебобулочное изделие (изделие с корректировкой пищевой ценности)?» большинство потребителей (32%) допускают повышение цены не более чем на 10% относительно цены традиционного изделия, 28% опрошенных – допускают повышение цены на 20%. Полное распределение представлено на рисунке 5.



Рисунок 5 – Отношение потребителей к стоимости обогащенного хлебобулочного изделия, % от числа опрошенных

На рисунке 6 представлена диаграмма распределения ответов по предпочтению обогащенных изделий в зависимости от обогащающего ингредиента или целевого назначения. Допускалось несколько вариантов ответа. Наибольшей популярностью среди респондентов пользуются изделия, обогащенные витаминами и минеральными веществами. На втором месте – изделия, обогащенные пищевыми волокнами, на третьем – обогащенные белковыми веществами.

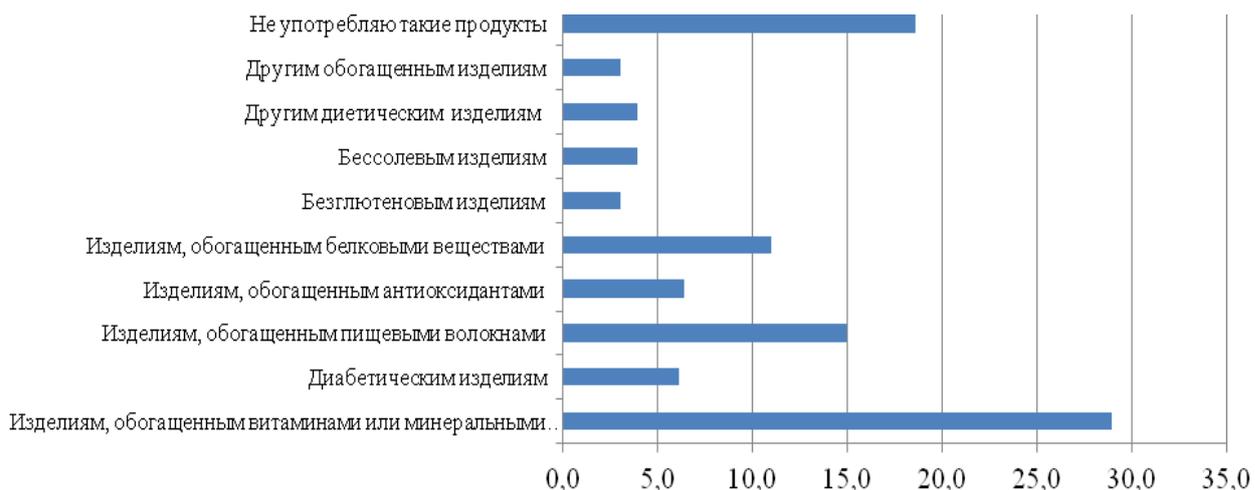


Рисунок 6 – Распределение по предпочтению обогащенных изделий или целевого назначения, % от числа опрошенных

Респондентам было предложено выбрать направления расширения ассортимента обогащенных хлебобулочных изделий. На рисунке 7 показано распределение ответов на вопрос «Какое направление обогащения, по Вашему мнению, стоит развивать?».



Рисунок 7 – Распределение ответов по развитию направлений обогащения, % от числа опрошенных

На основании данных опроса установлено, что примерно в равных степенях на изменение выбора в пользу обогащенной продукции могут повлиять следующие факторы: рекомендация врача/тренера для профилактики/лечения (28% респондентов); совет друзей, знакомого, родственника (22,5%),

любопытство к новому продукту (20%). 8% опрошенных отметили рекламу в СМИ. Приверженцами традиционных хлебобулочных изделий явились 21,5%.

Выявлено, что лишь треть опрошенных знают, что такое амарант и каковы его полезные свойства. 47% не знают, но имеют интерес и хотели бы узнать о его свойствах. 19,5% не интересуются названной информацией.

Выявляли осведомленность жителей г. Воронежа о преимуществах продукции, полученной с помощью экструзии. Так, отмечено, что более половины респондентов (58,5%) не знают, что названная продукция отличается лучшей усвояемостью.

Дополнительно провели изучение результатов потребительских предпочтений с использованием методики исследования взаимосвязи переменных с помощью пакета программ IBM SPSS Statistics 26.0. Инструментами исследования взаимосвязи двух переменных являются методы анализа таблиц сопряженности [40; 82]. С помощью коэффициента расхождения χ^2 и теоретического расхождения χ^2 устанавливается либо опровергается зависимость между рассматриваемыми переменными.

Анализировали таблицы сопряженности факторов, на наш взгляд, наиболее сильно влияющих на принятие решения о параметрах обогащения хлебобулочных изделий.

Двумерные таблицы сопряженности для переменных VAR001 и VAR002 (Приложение 2, таблицы 1-4) составлены по данным, полученным из ответов на вопросы «Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?» (независимая переменная) и «Как Вы относитесь к изделиям с различными добавками, улучшающими пищевую ценность продукта?» (зависимая переменная).

На основании комбинации таблиц 2 и 3 Приложения 2 была составлена таблица 4 с наблюдаемым и ожидаемым числом ответов. Значение χ^2 равнялось 10,37 при 12 степенях свободы. Вероятность того, что $\chi^2 > 10,37$, и, соответственно, рассматриваемые переменные независимы, согласно теории распределения, достаточно высока – $P > 0,481$. Т.е. в данном случае, имеющиеся

данные не позволяют отвергнуть нулевую гипотезу о независимости при стандартном уровне значимости $\alpha = 0,05$ ($0,481 > 0,05$).

Сопряженность результатов рассматриваемых вопросов позволяет сделать следующие выводы:

- 41,7% респондентов, выбирающих булочные изделия, периодически покупают либо предпочитают только изделия с добавками, улучшающими пищевую ценность продукта, 45,8% предпочитают традиционные изделия;

- большинство потребителей сдобных и слоеных изделий - 57,1% - предпочитают только изделия с добавками, улучшающими пищевую ценность, либо периодически их покупают;

- среди респондентов, предпочитающих хлеб, 46,1% периодически покупают либо предпочитают только изделия с добавками, улучшающими пищевую ценность; 49,6% предпочитают традиционные изделия; 4,4% ни разу не приобретали хлеб с добавками, улучшающими пищевую ценность изделия.

По аналогичному алгоритму рассматривали взаимосвязь между ответами на вопросы «Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?» (независимая переменная) и «Какое направление обогащения, по Вашему мнению, стоит развивать?» (зависимая переменная), результаты отображены в таблицах 5-8 Приложения 2.

Получено значение $\chi^2 = 18,57$ при 16 степенях свободы. Из таблицы распределений χ^2 можно найти, что вероятность того, что $\chi^2 > 18,57$, достаточно мала – $P > 0,163$, следовательно, с определенной долей вероятности можем предположить, что зависимости между переменными VAR001 и VAR003 не наблюдается.

Сопряженность рассматриваемых переменных позволяет сделать следующие выводы:

- среди респондентов, предпочитающих хлеб, 36,3% высказались за обогащение витаминами и минералами, 17,7% – за обогащение пищевыми волокнами, 14,3% – за обогащение белковыми веществами. Среди опрошенных

потребителей хлеба 30,1% не обращают внимания на ассортимент обогащенных изделий;

- среди потребителей булочных изделий большинство (27,1%) отметило необходимость в обогащении пищевыми волокнами; 22,9% - витаминами и минералами; 18,8% - белковыми веществами.

Двумерные таблицы сопряженности 9-12 Приложения 2 составлены на основании ответов на вопросы «Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?» (независимая переменная) и «Готовы ли Вы к изменению традиционного вкуса, аромата, внешнего вида изделия при условии улучшения его состава?» (зависимая переменная).

При рассмотрении зависимости переменных VAR001 и VAR004 получили $\chi^2 = 9,65$ при 8 степенях свободы. В таблицах распределений χ^2 показано, что вероятность того, что $\chi^2 > 9,65$, достаточно велика ($P > 0,248$), в связи с чем, как и в предыдущих случаях, устанавливаем независимость рассматриваемых переменных.

Таким образом, анализ таблицы сопряженности (виды хлебобулочных изделий - изменение традиционных характеристик) показал:

- 40,7% потребителей хлеба не готовы к изменению традиционного вкуса, аромата, внешнего вида изделия при условии улучшения его состава, в связи с чем устанавливаем необходимость сохранения традиционности в технологии хлеба;

- остальная часть потребителей хлеба готова к частичному изменению показателей (38,9%) либо к полному (20,4%), что подтверждает возможность использования в традиционных рецептурах сырья, нетрадиционного для хлебопечения.

В целом, проведенные исследования потребительских предпочтений позволили сделать следующие выводы:

- хлеб является продуктом массового потребления на постоянной основе, что подтверждает целесообразность его обогащения для получения положительного эффекта при корректировке рационов;

- 46,5% респондентов периодически покупают обогащенные изделия либо покупают только их – что свидетельствует о наличии спроса на названные продукты;

- среди направлений обогащения, требующих расширения, - обогащение минеральными веществами и витаминами, пищевыми волокнами, белковыми веществами;

- при разработке рецептуры стоит учитывать изменение традиционных характеристик изделия, т.к. 40,7% потребителей хлеба не готовы к их полному изменению; 38,9% готовы к частичному и только 20,4% полному изменению.

Полученные результаты были учтены при разработке обогащенного посредством применения продуктов переработки амаранта хлебобулочного изделия.

4 ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА АМАРАНТА КАК ОБОГАЩАЮЩЕГО ИНГРЕДИЕНТА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

4.1 Скрининг сортов амаранта Воронежской селекции и ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

Применение амаранта в пищевых технологиях редко сопровождается указанием сортовой принадлежности зерна, в то время как его органолептические и физико-химические характеристики могут значительно отличаться в зависимости от сорта. Исходя из поставленной задачи обогащения хлебобулочных изделий скрининг 8 сортов амаранта проведен по нутриентному составу. Результаты исследований амаранта представлены в Приложении 3.

Сравнительная характеристика зерна исследованных сортов амаранта приведена в таблицах 1-2 Приложения 4.

Как показали результаты исследований, состав зерна амаранта варьируется в широких пределах. Установлена зависимость состава зерна амаранта от сортовой принадлежности. По содержанию белковых веществ лучшие показатели имеют сорта Универсал и Рубин. По содержанию жира – Универсал, Император. Максимальным содержанием минеральных веществ отличаются сорта Универсал, Валентина. В Универсале также обнаружено максимальное содержание моно- и дисахаридов и перевариваемого белка (рисунок 8).

Анализируя результаты исследования минерального состава, прежде всего, необходимо обратить внимание на содержание кальция и железа. Дефицит названных нутриентов в рационах питания населения России отмечается в большинстве исследований. По содержанию кальция выделяется амарант сорта Валентина, Универсал и Добрыня, железа – Воронежский-36, Универсал.

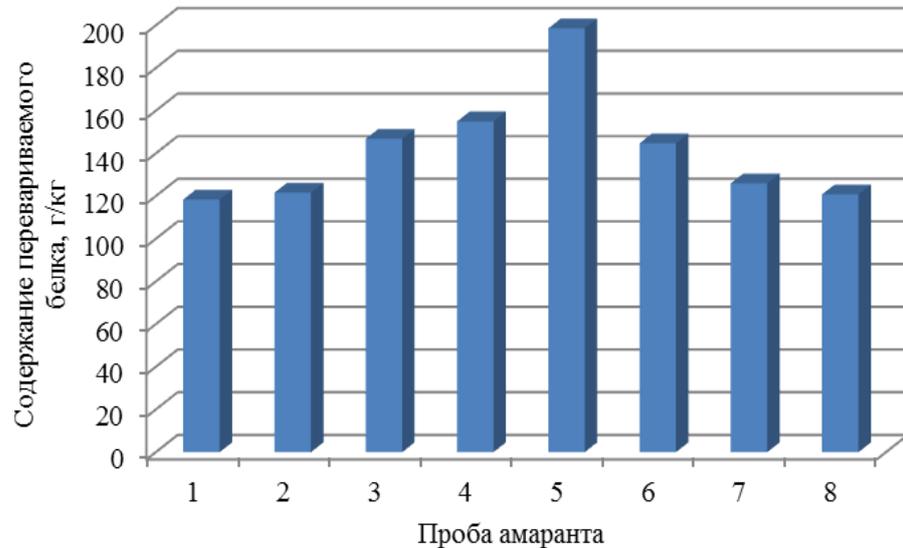


Рисунок 8 – Содержание перевариваемого белка в пробах зерна амаранта сорта: 1- Воронежский-36, 2 – Воронежский, 3 – Император, 4 – Рубин, 5 - Универсал, 6 – Гигант, 7 – Добрыня, 8 – Валентина

Анализируя содержание других минеральных веществ необходимо отметить высокое содержание фосфора в зерне амаранта сорта Универсал, меди – в сортах Гигант и Универсал, цинка – в сорте амаранта Воронежский, повышенное содержание марганца – в сорте Валентина. Соответственно, информацию о содержании меди и марганца в зерне амаранта необходимо учитывать как ограничивающий фактор при разработке рецептурных составов пищевых продуктов. При этом амарант сорта Валентина имеет темный цвет оболочек, что необходимо учитывать как фактор влияния на сенсорное восприятие продукта.

Таким образом, при выборе зернового обогащающего ингредиента для повышения пищевой и биологической ценности пищевых продуктов, в том числе хлебобулочных изделий, целесообразно ориентироваться на амарант сорта Универсал. В пользу последнего говорит и тот факт, что зерно сорта Универсал имеет белый с легким желтоватым оттенком цвет, что позволит применять продукты его переработки вне зависимости от цветовой гаммы готового продукта.

4.2 Изучение состава и свойств экструдата амаранта сорта Универсал

На основании скрининга амаранта Воронежской селекции и селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» для дальнейших исследований был выбран амарант Воронежской селекции сорта Универсал. При этом изучение научно-технических источников и органолептическая оценка амаранта показали специфику его запаха и возможность влияния на сенсорные характеристики готовых изделий. В связи с чем, была предложена экструзионная обработка зерна амаранта, как фактор снижения риска негативного влияния обогащающего ингредиента на потребительские свойства готовых изделий. Способ получения экструдата приведен в разделе 2.3.

Экструдат амаранта сорта Универсал представляет собой полуфабрикат в виде прямых или изогнутых жгутов округлого поперечного сечения светло-кремового цвета, с шероховатой поверхностью и развитой пористостью, хрустящий, с легким запахом лесного ореха, со слабым горьковатым привкусом, характерным для амаранта. Изображение экструдата амаранта сорта Универсал представлено на рисунке 9.



Рисунок 9 – Экструдат амаранта сорта Универсал

Индекс расширения составлял 1,8; коэффициент экструзии – 700%.

Мука, получаемая при размоле экструдата, имела характеристики, приведенные в таблице 20.

Таблица 20 – Характеристики муки из экструдата амаранта

Показатель	Характеристика и значение
Цвет	Светло-кремовый
Запах	Свойственный муке из амаранта, ореховый, умеренно выраженный, без посторонних запахов
Вкус	Свойственный муке из амаранта, с легкой горчинкой, не кислый, без посторонних привкусов
Содержание минеральных примесей	Отсутствует
Зараженность и загрязненность вредителями хлебных запасов	Не обнаружено
Металломагнитная примесь (размер отдельных частиц в наибольшем линейном измерении 0,3 мм и/или масса не более 0,4 мг), мг на 1 кг муки	Не обнаружена
Зольность, %	4,24±0,05
Влажность, %	7,1±0,2
Кислотность, град	4±0,1
Белки, г	27,5±0,8
Жир, г	4,5±0,2
Углеводы, г	58,0±1,6
Энергетическая ценность, ккал/кДж	230,6/965,5

В сравнении с мукой пшеничной хлебопекарной мука из экструдата амаранта имеет более темный цвет и большее содержание золы из-за использования в экструдировании цельного зерна. Кислотность из экструдата амаранта несколько выше кислотности пшеничной муки, содержание жира в несколько раз выше, аромат ярко выражен.

Содержание углеводов в муке из экструдата амаранта ниже, чем у пшеничной хлебопекарной муки (в среднем на 10 %). Крахмал муки из экструдата амаранта на 85-93 % представлен амилопектином.

Для дальнейших исследований получали образцы муки различной крупности помола: 1 мм и менее, 0,315 мм и менее, 0,125 мм и менее. Соответствие образцов муки из экструдата амаранта ситам по ГОСТ 4403-91 приведено в таблице 21.

Таблица 21 – Соответствие образцов муки из экструдата амаранта ситам из синтетической нити по ГОСТ 4403-91

Сито по ГОСТ 4403	Остаток на сите, %, не более	Проход через сито, %, не менее
Мука из экструдата крупностью 0,125 мм и менее		
58КС	5	-
61КС	-	80
Мука из экструдата крупностью 0,315 мм и менее		
23КЧС	5	-
22,7ПЧ	-	80
Мука из экструдата крупностью 1 мм и менее		
7,5ПЧ-340	5	-
8,7ПЧ-300	-	60

4.3 Исследование фракционного состава экструдата амаранта методом ИК-спектроскопии

Изменения фракционного состава зерна амаранта при экструзии изучали методом инфракрасной спектроскопии – информативным методом, определяющим наличие вещества в объекте исследования путем его взаимодействия с инфракрасной областью электромагнитного спектра (4000–400 см⁻¹).

На основании различий частоты и интенсивности колебательного спектра молекул до и после экструзии идентифицируется вещество и изменения, происходящие с ним.

На рисунке 10 показаны ИК спектры поглощения цельносмолотого зерна амаранта и экструдированного зерна.

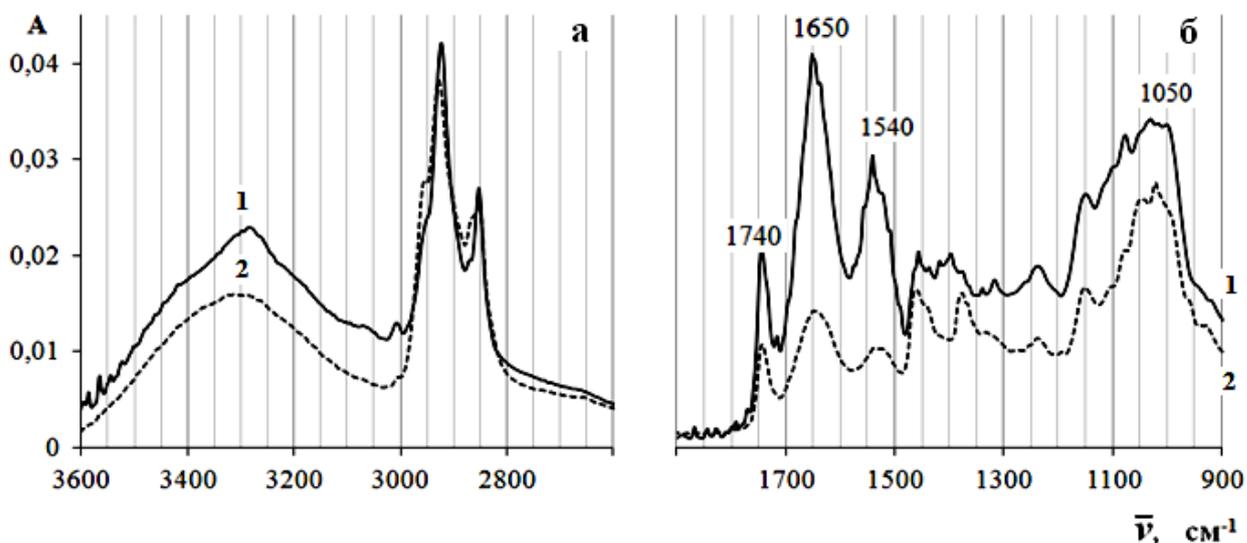


Рисунок 10 – ИК-спектры поглощения (а,б) проб: 1 – амаранта сорта Универсал, 2 – экструдата амаранта сорта Универсал

Сравнение спектральных характеристик образцов цельносмолотого зерна и экструдата амаранта демонстрирует наличие полос поглощения в двух областях – коротковолновой ($3600\text{-}2600\text{ см}^{-1}$, рисунок 10, а) и длинноволновой ($1800\text{-}900\text{ см}^{-1}$, рисунок 10,б) частях спектра. Первая содержит интенсивные пики поглощения, характеризующие валентные колебания С-Н метильных и метиленовых фрагментов $2923\text{-}2933\text{ см}^{-1}$ и 2855 см^{-1} , а также широкую полосу поглощения в области $3280\text{-}3300\text{ см}^{-1}$, отвечающую валентным колебаниям связей О-Н и N-H [16; 31; 63; 161]. Спектральное поведение образцов 1 и 2 в длинноволновой области спектра (рисунок 2б) также схоже. Интенсивное поглощение в области $1000\text{-}1050\text{ см}^{-1}$, а также хорошо выраженная полоса 1150 см^{-1} соответствуют колебаниям эфирной группировки С-О-С в структуре целлюлозы [16]. Для обоих образцов проявляются полосы поглощения карбоксильной группы в водородной (1740 см^{-1}) и солевой (1650 см^{-1}) формах [63; 161]. В спектре образца 1 присутствуют интенсивные максимумы, характеризующие колебания амидных связей в составе белковых компонентов и аминокислот зерна амаранта. Полосы 1650 и 1540 см^{-1} можно отнести к колебаниям С-N связей, соответственно Амид I и Амид II [63].

В процессе экструзии зерна амаранта происходят деструктивные явления, которые сопровождаются изменениями в спектрограммах образцов. Для сравнения интенсивности характеристических полос поглощения зерна и экструдата амаранта был использован метод базовой линии. В качестве внутреннего стандарта выбрана частота 1460 см^{-1} , как наиболее близкая к исследуемым частотам и присутствующая на обеих спектрограммах. Относительные высоты пиков $h/h_{\text{СТ}}$ приведены на рисунке 11.

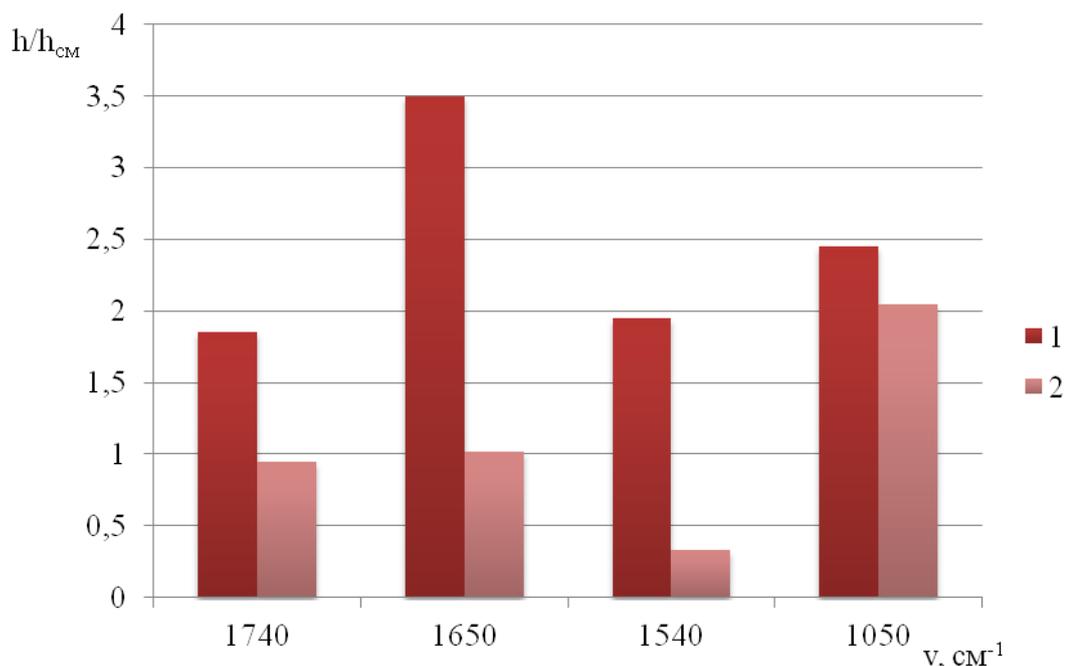


Рисунок 11 - Относительные высоты характеристических пиков для зерна (1) и экструдата (2) амаранта

Сравнение относительных высот полос поглощения для 1-го и 2-го образцов показывает снижение интенсивности колебаний карбоксильной группы (полосы 1740 и 1650 см^{-1}), амидных связей (1650 и 1540 см^{-1}), а также уменьшение высоты «эфирной полосы» (1050 см^{-1}). Полученные результаты свидетельствуют о разрушении структуры белковых компонентов, аминокислот и частично пиранозных циклов целлюлозы при проведении экструзии зерна амаранта. Причем процессы дезаминирования протекают более активно, чем декарбоксилирование, о чем свидетельствует более резкое снижение интенсивности полосы 1540 см^{-1} (в 5,9 раза), по сравнению с полосой 1740 см^{-1} (в 1,9 раза).

Данные ИК-спектроскопии свидетельствуют о частичном изменении состава и структуры зерна амаранта при одновременном термическом и механическом воздействии на биополимеры сырья в процессе экструзии. Наиболее сильно при этом разрушаются азотсодержащие белковые компоненты. В то же время структура пищевых волокон не претерпевает серьезных изменений. Что в последующем послужило основанием для рассмотрения экструдата амаранта как обогащающего не только белками, но и пищевыми волокнами ингредиента.

4.4 Изучение свойств амаранта и экструдата амаранта как функционального пищевого ингредиента методом *in vivo*

В соответствии с поставленными задачами в работе были проведены исследования влияния амаранта различных сортов и обработки на физиологическое состояние лабораторных животных – самцов крыс линии Wistar.

В таблице 21 приведены данные по массе тела животных до и после эксперимента, предполагавшего внесение части зерна и экструдата амаранта в рацион животных.

Отмечено, что наибольшую прибавку в массе получили крысы, корм которых содержал зерно амаранта сорта Универсал, что закономерно объясняется более высоким содержанием жира в данной добавке.

Таблица 21 – Изменение массы тела лабораторных животных после эксперимента

Группа	Масса тела до эксперимента, г	Масса тела после эксперимента, г	Прибавка, г
Первая (контрольная)	249,13±13,21	311,90±14,22	62,77
Вторая (зерно Валентина)	256,70±12,73	325,06±12,40	68,36
Третья (экструдат Универсал)	255,48±14,68	341,48±16,14	86,00
Четвертая (зерно Универсал)	253,52±9,38	348,04±10,02	94,52

Исследование крови имеет большое значение для лабораторных анализов. У здоровых животных в нормальных физиологических условиях существует постоянство химико-морфологического состава и физико-химических свойств. Органы очень чувствительно реагируют на различные физиологические и патологические воздействия на организм, в том числе, регулирование качества и количества кормов, путем изменения картины крови. Результаты анализа крови исследуемых животных приведены в Приложении 5.

Отмечено, что в контрольной группе вследствие несбалансированного рациона кормления (только кислые корма) могут наблюдаться эрозивные изменения слизистой оболочки тонкого и толстого кишечника. Вследствие этого, по данным общего анализа крови, а так же лейкоцитарной формулы, можно предположить правильность постановки диагноза на основании следующих показателей: повышенная скорость оседания эритроцитов (СОЭ), эозинофилом, моноцитов. Пониженный уровень гемоглобина говорит об анемии, уменьшение количества лимфоцитов говорит о понижении иммунного статуса. Неправильный рацион привел к нарушению обмена веществ, особенно углеводного – понижение содержания глюкозы, повышение количества аланинаминотрансферазы (АлАТ).

У второй группы подопытных животных вследствие низкого качества составляющего корма зерна Валентина может наблюдаться развитие токсического гепатита. Также наблюдается повышение количества АлАТ, билирубина, СОЭ, понижение содержания мочевины. Добавление к основному рациону зерна Валентина привело к нормализации гемоглобина крови и, следовательно, насыщение тканей кислородом.

Включение в рацион 15 г экструдированного зерна сорта Универсал у третьей группы подопытных привело к выравниванию обмена веществ - углеводного (нормализовалось содержание глюкозы в крови) и иммунного статуса (повысился гемоглобин и нормализовалась лейкоцитарная формула, пришло в норму содержание АлАТ и аспартатаминотрансферазы (АсАТ). Воспалительная реакция организма снизилась (нормализовалась СОЭ).

Включение в рацион зерна Универсал также привело к явным улучшениям показателей крови.

Материалами следующего этапа работы - гистологического исследования - послужили желудок, печень и почки половозрелых самцов белых крыс.

При гистологическом исследовании контрольной (таблица 1 Приложения 6) группы крыс строение желудка было представлено слизистой, подслизистой, мышечной и серозной оболочкой. Прослеживалось тесное соприкосновение слизистой оболочки с мышечной. Поверхность слизистой желудка была покрыта однослойным призматическим эпителием по всей поверхности, включая ямки. Слизистая оболочка имела множественные складки и была выстлана однослойным столбчатым эпителием. При гистологическом исследовании слизистой оболочки желудка выявлено умеренное количество слизи, вырабатываемой столбчатым эпителием. Клетки тела и дна желез окрашены базофильно более выражено, чем выводные протоки. Клетки желез размещены в виде непрерывных тяжей, плотно прилегают друг к другу. Выявлено центральное расположение ядер в клетках. Ядра имели сферическую форму. Отмечены расширения кровеносных сосудов и стазы. Диффузно наблюдались деструктивные изменения в железистом эпителии слизистой оболочки желудка. Просветы желез были расширены.

При морфологическом исследовании печени контрольной группы выявлено радиальное расположение балок. Гепатоциты формируют тяжи, плотно прилегающие друг к другу. Под капсулой выявлено очаговое расположение гепатоцитов с пенистой цитоплазмой. Отдельные гепатоциты сливаются в одно просветленное поле. В центральной части дольки также выявлено скопление клеток печени с пенистой цитоплазмой. Диффузно происходил разрыв цитоплазмы гепатоцитов и выход содержимого клетки в просвет паренхимы органа. Ядерный аппарат клеток печени был уплотнён, местами наблюдался кариолизис и кариорексис.

Архитектоника почек контрольной группы у белых крыс: наблюдалось полнокровие органа, деление на корковый и мозговой слои. В корковом слое

располагались почечные тельца правильной округлой формы. Наблюдали относительную сохранность тканей клубочка. Извитые канальца как коркового, так и мозгового слоя были умеренно расширены, клеточный состав выстилающего эпителия - цилиндрической формы, ядра занимали центральное расположение. Местами выявлялось расширение микроциркуляторного русла коркового слоя почек и очаги кровоизлияния в паренхиму почки. В просветах канальцев обнаружены белковые массы. Наблюдалось незначительное расширение полости капсулы Боумена-Шумлянского.

При гистологическом исследовании желудка крыс второй группы (таблица 2 Приложения 6), отметили, что структурная организация сохранена. Желудок представлен слизистой оболочкой с неороговевающим эпителием, подслизистой основой, мышечным слоем и серозной оболочкой. Слизистая оболочка не имела утолщений, желудочные ямки были хорошо различимы. Между слизистой оболочкой и подслизистой основой располагалась мышечная пластинка. Подслизистая основа не содержала желез, местами имела утолщения. Сосуды подслизистой основы характеризовались диффузной кровенаполненностью. Мышечная оболочка состояла из нескольких слоев мышечных клеток с ядрами вытянутой формы, серозная оболочка была без изменений.

При гистологическом исследовании печени крыс второй группы архитектура органа оставалась в пределах нормы для данного вида животных, но были обнаружены незначительные морфологические отклонения в ткани печени. В гепатоцитах выявлялась зернистость, появление двуядерных клеток и полнокровие сосудов триад. Отмечалось нарушение кровообращения, которое проявлялось застоями крови в кровеносных сосудах; печеночные пластинки были слегка деформированы и границы их размыты из-за давления лимфоидных клеток, расположенных в окружающих печеночных структурах.

Гистологическое исследование почек крыс второй группы не выявило нарушений структурной организации органа. Корковый и мозговой слои были хорошо различимы. Корковый слой представлен проксимальными и дистальными канальцами с диффузно расположенными нефронами. Почечные тельца имеют

характерное для данного вида состояние. Мозговой слой представлен восходящими и нисходящими петлями нефрона, также присутствовали мелкие очаги кровенаполнения. Почечная лоханка характеризовалась единичными эритростазами, ядра были окрашены базофильно, цитоплазма светлая.

При гистологическом исследовании желудка крыс третьей группы (таблица 3 Приложения 6) отмечено сохранение архитектоники. Орган представлен четырьмя слоями: слизистая оболочка, подслизистая основа, мышечный слой, серозная оболочка. Слизистая оболочка представлена многослойным эпителием, в котором отчетливо видны ямки, хорошо различимы от 3 до 6 слоев плоских эпителиальных клеток с центральным расположением ядра. Хорошо видна граница между многослойным эпителием и железистой частью, клетки железистого эпителия содержали умеренное количество секрета, без деструктивных изменений. Слизистая оболочка железистой части представлена однослойным цилиндрическим эпителием, выстилающим желудочные ямки, в основании которых открываются железы желудка. Подслизистая основа не содержала желез, имела нормальную структуру и толщину. В ней находились сосудистые сплетения и нервное подслизистое сплетение Мейсснера. Мышечная оболочка была хорошо развита и состояла из трех слоев. Снаружи желудок был покрыт серозной оболочкой, состоящей из однослойного плоского эпителия и слоя соединительной ткани.

При морфологическом исследовании почки выявлено, что структурная организация органа сохранена. Почка представлена корковым и мозговым слоем, границы между слоями хорошо различимы, сосуды коркового и мозгового слоя характеризуется диффузной венозно-капиллярной кровенаполненностью. Корковое вещество располагалось под капсулой, состояло из почечных телец, нефрона и соединительнотканых прослоек между ними. Мозговое вещество лежало в центральной части органа, состояло из петель нефронов, собирательных трубочек, сосочковых канальцев и соединительнотканых прослоек между ними. Почечные тельца характеризовались нормальным морфофункциональным состоянием: эпителий почечного клубка не имел деструктивных изменений, капсула Боумена–

Шумлянского также не имела патологий. Почечная лоханка содержала умеренное количество мочи, клетки имели светлую цитоплазму и центрально расположенное ядро без патологических изменений.

При гистологическом исследовании печени выявлено, что структурная организация органа сохранена, орган был представлен дольками, имеющими правильную гексагональную форму, дольки состояли из радиально расположенных печеночных балок, на границе которых располагалась триада: печеночная артерия, вена и желчный проток. Гепатоциты имели бледно-розовую окраску цитоплазмы с центрально расположенными ядрами. Ядра окрашены базофильно, в некоторых отчетливо различались ядрышки. Сосуды органа характеризовались слабой кровенаполненностью.

При гистологическом исследовании желудков крыс четвертой группы отмечено, что архитектоника сохранена (таблица 4 Приложения 6). Орган был представлен четырьмя слоями: слизистая оболочка, подслизистая основа, мышечный слой и серозная оболочка. Слой слизистого эпителия представлен желудочными ямками со слоем эпителиальных клеток, однослойным высокопризматическим эпителием и собственной пластинкой слизистой оболочки, в которой располагались несколько слоев железистых клеток эпителия желудка. Между слизистой и подслизистой оболочкой располагалась мышечная пластинка. Подслизистая основа имела в своем составе кровеносные сосуды, которые характеризовались диффузной кровенаполненностью. Мышечная оболочка имела в своем составе несколько слоев гладкомышечных клеток с вытянутыми ядрами, местами была слегка утолщена.

При гистологическом исследовании почки были четко различимы корковый и мозговые слои. Корковый слой представлен дистальными и проксимальными извитыми канальцами с диффузно расположенными почечными тельцами. Нефроны имели нормальное морфофункциональное состояние, полость капсулы Боумена-Шумлянского не содержала патогенных экссудатов и имела нормальное состояние без утолщений. Мозговое вещество лежало в центральной части органа, состояло из петель нефронов, трубочек, сосочковых канальцев и

соединительнотканых прослоек между ними. Кровеносные сосуды имели диффузную венозно-капиллярную кровенаполненность, без клеток воспалительного элемента в просвете. Клетки почечной лоханки имели светлую цитоплазму бледно-розового оттенка, в просвете выводных канальцев не было обнаружено кристаллов мочевины или других патогенных скоплений.

При дальнейшем гистологическом исследовании печени отмечено, что архитектоника сохранена: балочно-радиальное строение было выражено четко, на границах балок располагалась триада печени (печеночная вена, артерия, желчный проток). Сосуды имели слабую кровенаполненность, стенки имели нормальное состояние, пристеночного стояния эритроцитов не было выявлено. Гепатоциты имели бледно-розовый окрас цитоплазмы с базофильно окрашенным ядром, в котором четко различалось ядрышко.

Таким образом, проведенные гистологические исследования четырех групп животных выявили в контрольной группе крыс дистрофические процессы в печени, что привело к нарушению обмена веществ. Во второй группе животных, которые получали по 15 г зерна амаранта сорта Валентина, наблюдали в гепатоцитах зернистость, появление двуядерных клеток, а также полнокровие сосудов триад. В третьей и четвертой группах морфологическое состояние органов пищеварения крыс указывало на улучшение состояния пищеварительной системы животных и их общего состояния при переходе на экструдат и зерно Универсала. Введение в рацион крысам зерна амаранта сорта Универсал, по-видимому, оказывает достаточную защиту и восстановительные свойства в отношении печени, а также регулирует пролиферативные процессы в органах и тканях и повышает активность ферментов, что в свою очередь подтверждает, как биохимические исследования крови, так и гистологическое изучение паренхиматозных органов.

Таким образом, проведенные гистологические исследования показали, что зерно и экструдат амаранта оказывают благоприятное воздействие на физиологическое состояние лабораторных животных и, соответственно, могут в

первом приближении быть классифицированы как пищевые ингредиенты с признаками функциональных свойств.

4.5 Изучение функционально-технологических свойств муки из экструдата амаранта

С целью определения направлений использования муки из экструдата амаранта по видам мучных изделий и особенностям технологий исследовали функционально-технологические свойства - жироэмульгирующую, жиросвязывающую, водосвязывающую способность, растворимость муки из экструдата амаранта с различной гранулометрией.

Жироэмульгирующая способность (ЖЭС) определяет способность исследуемого сырья стабилизировать эмульсию типа «масло-вода» в процессе замеса теста и на других технологических этапах [102].

Результаты определения ЖЭС муки из экструдата амаранта с различным размером частиц показаны на рисунке 13.

Очевидно, что доля масляной эмульсии, т.е. жироэмульгирующая способность, с уменьшением крупности помола увеличивается. Можно сделать вывод, что в технологии мучных изделий, включающих стадию получения эмульсии, целесообразно использовать муку из экструдата амаранта с меньшим размером частиц.

Проводилось определение способности муки связывать жир (рисунок 14). Жиросвязывающая способность (ЖСС) характеризует способность сырьевого компонента адсорбировать и удерживать жир в процессе настаивания и центрифугирования суспензии с растительным маслом. Способность удерживать молекулы жира сырьевыми компонентами обеспечивается благодаря наличию гидрофобных группировок, которые взаимодействуют с липидами, а также адсорбцией поверхностью твердых частиц. ЖСС позволяет судить о способности рецептурных компонентов удерживать жидкое растительное масло в процессе производства и хранения изделий с ним [102; 191].

Наибольшая жиросвязывающая способность обнаружена у муки с размером частиц 1,0 мм и менее. Это позволяет рекомендовать ее использование в рецептурах хлебобулочных изделий с высоким содержанием жира.

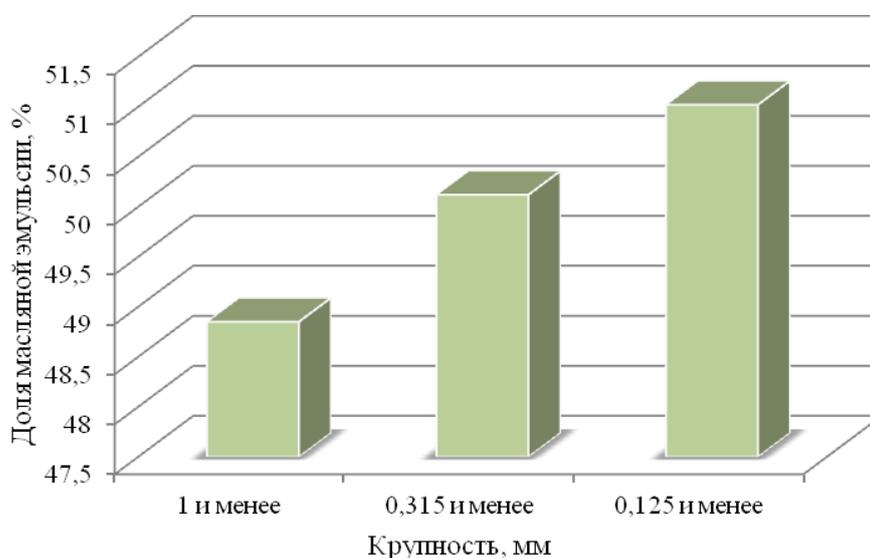


Рисунок 13 – Жироэмульгирующая способность муки из экструдата амаранта в зависимости от размера частиц

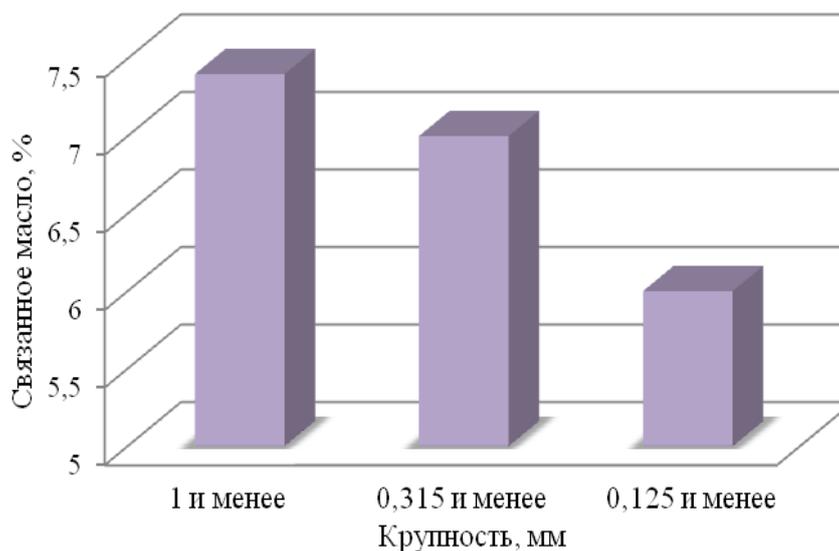


Рисунок 14 – Жиросвязывающая способность муки из экструдата амаранта в зависимости от размера частиц

Нетрадиционное сырье, используемое в производстве пищевых продуктов, должно обладать хорошей водосвязывающей способностью (ВСС). Особенно это свойство важно для хлебобулочных изделий, так как влияет на форму и внешний вид готовой продукции. Результаты определения ВСС приведены на рисунке 15.

Как показали результаты исследований, мука из экструдата амаранта крупностью помола 0,125 мм и менее обладает лучшей водосвязывающей способностью по сравнению остальными образцами, что вполне объясняется увеличением поверхности взаимодействия фаз. Это позволяет ожидать от хлебобулочных изделий с внесением амарантовой муки данной крупности улучшенной формы и обуславливает целесообразность ее внесения в подовые изделия.

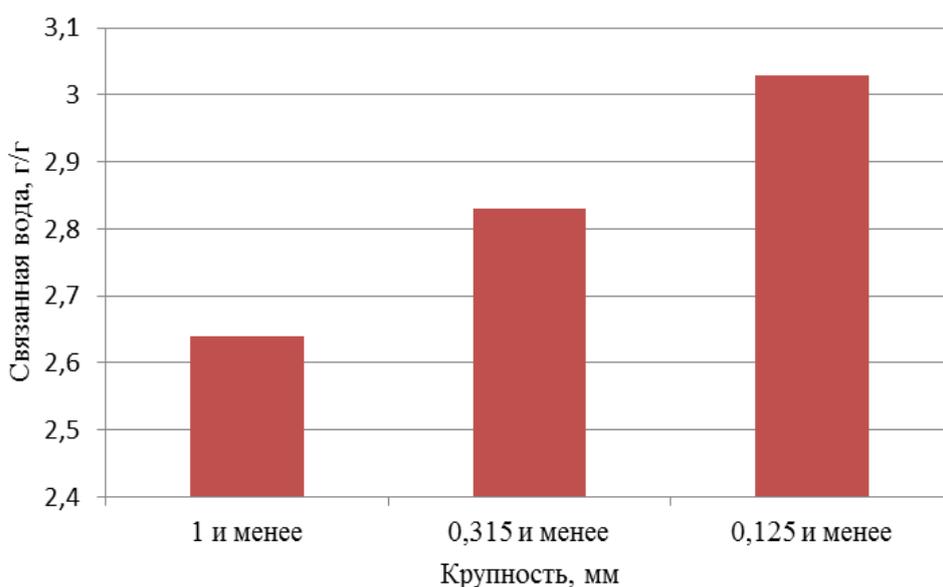


Рисунок 15 – Водосвязывающая способность муки из экструдата амаранта в зависимости от размера частиц

В формировании свойств теста и, соответственно, готовых изделий одним из основных факторов является не только способность его компонентов связывать и удерживать воду, но и переходить в раствор [159]. Растворимость муки из экструдата амаранта разной крупности помола исследовали в зависимости от pH и температуры раствора.

Для определения растворимости муки от pH раствора использовали растворы со следующими значениями кислотности pH в кислой, близкой к нейтральной и щелочной зонах: 3,03, 5,92 и 8,88. Результаты анализа приведены на рисунке 16.

По полученным данным можно сделать вывод, что в слабокислой среде (pH 5,92) растворимость муки из экструдата амаранта практически не меняется и не

зависит от размера частиц. Мука обладает максимальной растворимостью при крупности помола 0,125 мм в щелочной зоне рН (8,88).

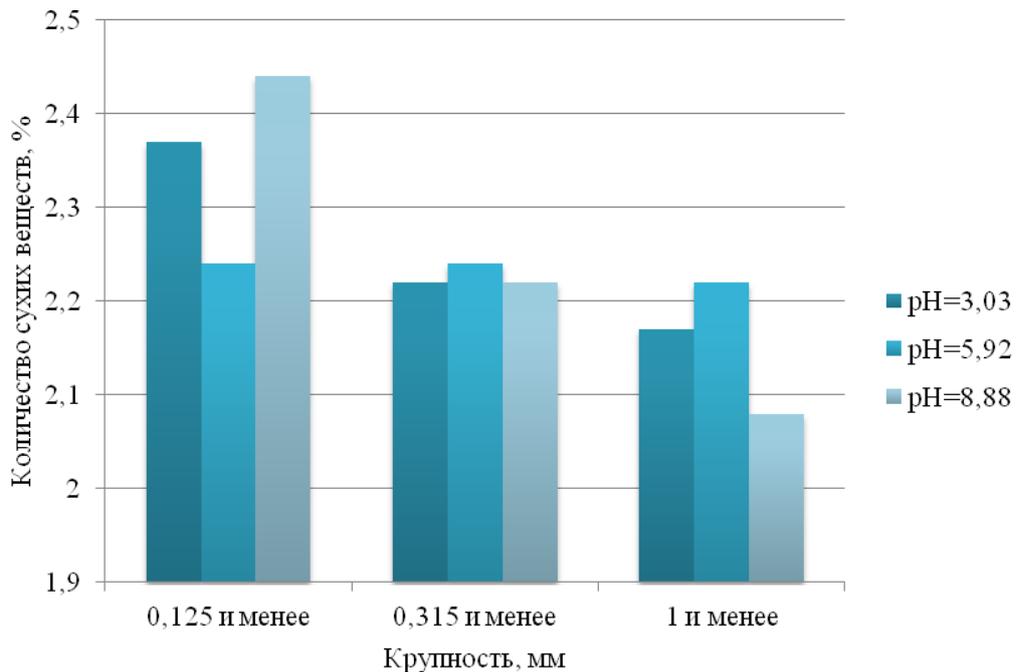


Рисунок 16 – Зависимость растворимости муки из экструдата амаранта от рН и размера частиц

С увеличением размера частиц растворимость в кислой и щелочной зонах снижается, что вполне согласуется с известными механизмами кислотного и щелочного гидролиза. В любом случае полученные зависимости подтверждают целесообразность применения муки из экструдата, как в технологиях, основанных на биотехнологических процессах, так и для производства ряда мучных кондитерских изделий, в технологии которых предусмотрено применение химических разрыхлителей. В первом случае продукты кислотного гидролиза биополимеров могут использоваться дрожжевой и молочнокислой микрофлорой в качестве питательного субстрата. Во втором – участвовать в формировании цвета и аромата изделия через реакцию меланоидинообразования.

Анализировали растворимость муки из экструдата амаранта в зависимости от температуры в слабокислой зоне рН - 23 ± 2 , 31 ± 2 и 41 ± 2 °С. Полученные результаты приведены на рисунке 17.

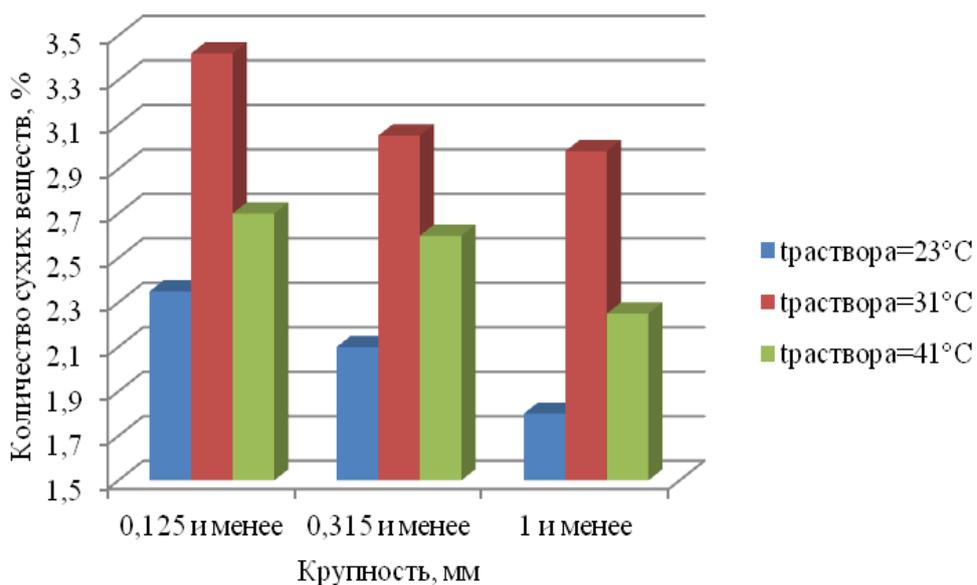


Рисунок 17 – Зависимость растворимости муки из экструдата амаранта от температуры и размера частиц

Установлено, что наибольшая растворимость наблюдается при температуре 31 ± 2 °С при всех вариантах дисперсности частиц.

На основании проведенного блока изучения функционально-технологических свойств муки из экструдата амаранта в качестве дальнейшего объекта исследования выбрана мука крупностью 0,125 мм и менее.

4.6 Изучение сорбционной способности муки из экструдата амаранта

Одним из основных функциональных свойств экструдатов является их способность регулировать минеральный обмен веществ в организме - выводить из организма человека соли тяжелых металлов [153]. Предпосылкой предположения, что экструдат амаранта способен выводить соли тяжелых металлов из организма, является высокое содержание в его составе пищевых волокон.

ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» в хлебобулочной продукции регламентирует содержание таких тяжелых металлов, как ртуть, свинец, кадмий и мышьяк. До недавнего времени в перечень входили медь и цинк. В связи с идентичностью свойств и целесообразностью контролировать

содержание меди в готовой продукции, исследования сорбционной способности проводили на примере ионов Cu^{2+} .

В результате исследований, проведенных оптическим методом, были получены результаты, представленные в таблице 22.

Таблица 22 - Сорбция Cu^{2+} из водного раствора экстрадата амаранта

Концентрация CuSO_4 , моль/дм ³		Сорбция $A \cdot 10^3$, моль/г	$1/A \cdot 10^{-3}$, г/моль	$1/C$, дм ³ /моль	Ln A	Ln C
C_0	C					
0,03	0,0110	1,90	0,53	90,91	-6,27	-4,51
0,04	0,0162	2,38	0,42	61,73	-6,04	-4,12
0,05	0,0242	2,58	0,39	41,32	-5,96	-3,72
0,06	0,0329	2,71	0,37	30,40	-5,91	-3,41
0,07	0,0425	2,75	0,36	23,53	-5,90	-3,16

Зависимость сорбции из раствора на твердом теле от равновесной концентрации сорбтива описывается различными уравнениями. В инженерных расчетах часто используют эмпирическое уравнение Фрейндлиха (1):

$$A = \beta C^n, \quad (1)$$

или уравнение Ленгмюра (2):

$$A = A_{\max} KC / (1 + KC), \quad (2)$$

где A – удельная сорбция, то есть количество адсорбированного вещества, приходящееся на единицу массы адсорбента, моль/г;

K – константа сорбционно-десорбционного равновесия, зависящая от природы сорбента и сорбтива;

C – равновесная концентрация растворенного вещества (сорбтива) в растворе, моль/дм³;

B и n – эмпирические коэффициенты;

Для нахождения коэффициентов для уравнения Ленгмюра строили зависимость (рисунок 18).

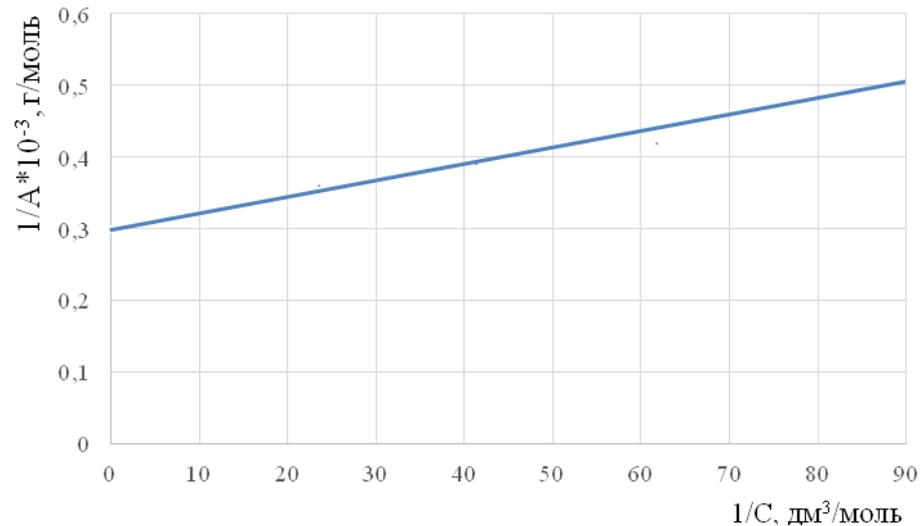


Рисунок 18 - Изотерма сорбции Cu^{2+} из водного растворов на экструдат амаранта

Из рисунка 18 определяли:

$$1/A_{\max} = 0,30 \cdot 10^3 \text{ Г/МОЛЬ},$$

$$A_{\max} = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ МОЛЬ/Г},$$

$$\text{tg } \alpha = 1/A_{\max} K,$$

$$\text{tg } \alpha = 0,09 \cdot 10^3 / 40 = 2,25,$$

$$K = 1 / 3,33 \cdot 10^{-3} \cdot 2,25 = 133,3.$$

В результате получили уравнение Ленгмюра:

$$A = 3,33 \cdot 10^{-3} \cdot 133,3 \cdot C / (1 + 133,3 \cdot C) \quad (3)$$

Подставив в данное уравнение значение концентраций раствора сульфата меди, получили графическую зависимость, представленную на рисунке 20.

Для нахождения коэффициентов для уравнения Фрейндлиха строили графическую зависимость (рисунок 19).

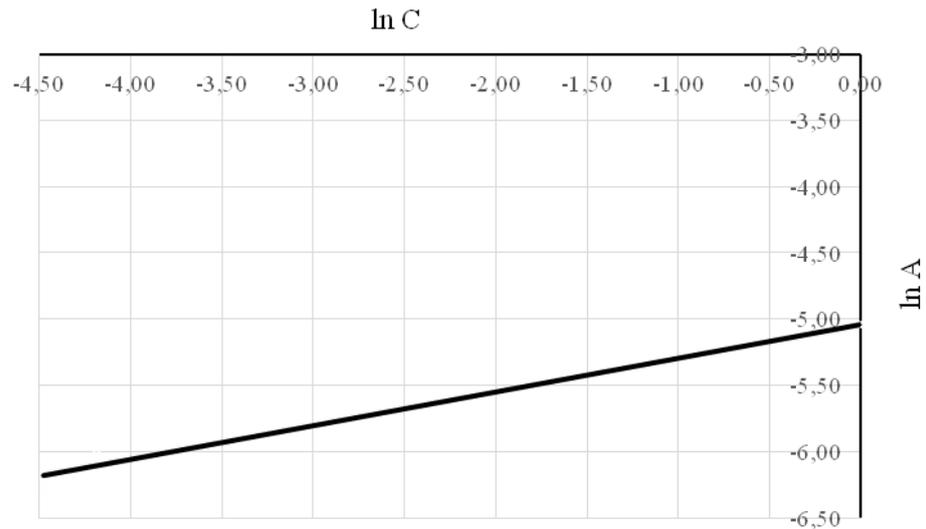


Рисунок 19 - Изотерма сорбции Cu^{2+} из водных растворов на экстракт амаранта

По графику (рисунок 19) определили коэффициенты для уравнения:

$$\beta=0,01; \quad n=0,26$$

В результате получили уравнение Фрейндлиха:

$$A=0,01 \cdot C^{0,26} \quad (4)$$

Подставив в данное уравнение значение концентраций раствора сульфата меди, получили графическую зависимость, представленную на рисунке 20 (3).

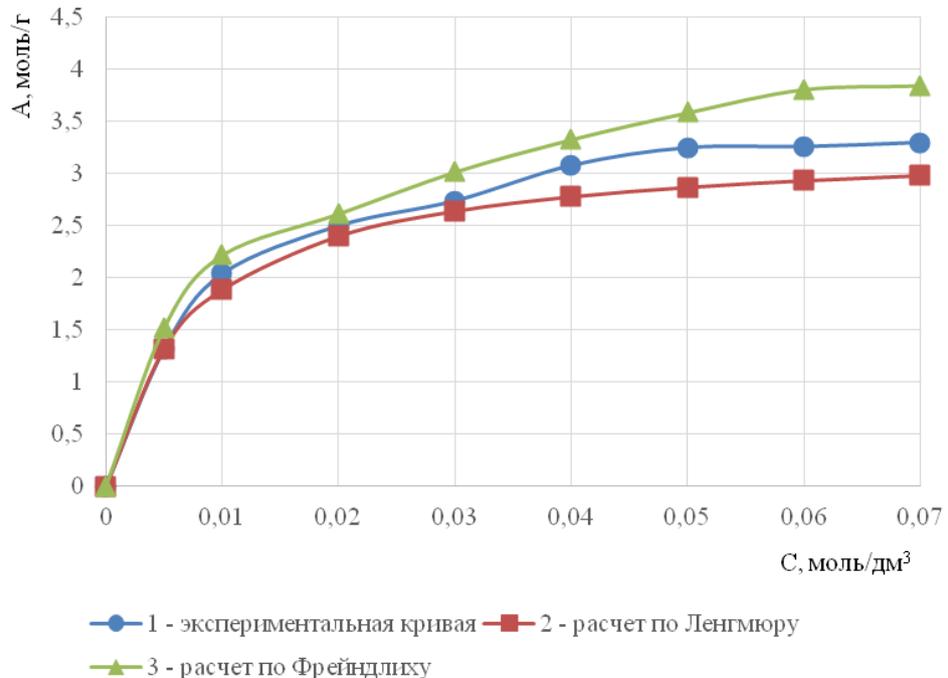


Рисунок 20 - Зависимость сорбции Cu^{2+} от концентрации из водных растворов экстракта амаранта

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено:

- экструдат амаранта сорбирует Cu^{2+} из его водных растворов. Построены изотермы сорбции Cu^{2+} на экструдате амаранта;

- для описания экспериментальных изотерм сорбции подобраны коэффициенты в эмпирическом уравнении Фрейндлиха. Полученные уравнения описывают эксперимент в области малых концентраций Cu^{2+} ;

- экспериментальные данные в более широком диапазоне концентраций попадают под описание теорией Ленгмюра, основным положением которой является представление о квазихимической реакции, протекающей между сорбирующимся компонентом и активным центром поверхности сорбента.

В целом, можно предположить сорбционные свойства муки из экструдата амаранта по отношению к солям тяжелых металлов и, соответственно рассматривать экструдат из амаранта, как ингредиент, способствующий их выведению из организма.

4.7 Исследование хлебопекарных свойств мучных смесей

Как показано проведенными нами маркетинговыми исследованиями (раздел 3), потребитель не готов к кардинальному изменению сенсорных характеристик обогащенных хлебобулочных изделий, даже несмотря на их очевидную пользу. Соответственно, обсуждая перспективность того или иного ингредиента необходимы исследования его влияния на комплекс свойств, которые традиционно называются хлебопекарными и обеспечивают возможность получения хлеба достаточного объема, правильной формы с нормально окрашенной коркой, эластичным мякишем с мелкой, тонкостенной и развитой пористостью. К хлебопекарным свойствам пшеничной муки относятся:

- газообразующая способность;
- сила муки;
- цвет муки и способность ее к потемнению [13].

Одним из факторов, влияющих на внешний вид готового хлебобулочного изделия, в частности на цвет мякиша, является белизна муки. Белизну определяют части зерна, из которых она была смолота, а также крупность, вносимые добавки, параметры хранения и др. Чем выше белизна муки, тем больше в ее составе крахмала. Такая мука широко используется, но содержит минимальное количество клетчатки, в ней почти отсутствуют минеральные вещества и витамины.

Проводили анализ модельных смесей из пшеничной хлебопекарной муки высшего и первого сортов с мукой из экструдата амаранта крупностью помола 0,125 мм и менее. Дозировка последней составляла от 5 до 30%.

На рисунке 21 представлены полученные значения белизны в смесях муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта с мукой из экструдата амаранта.

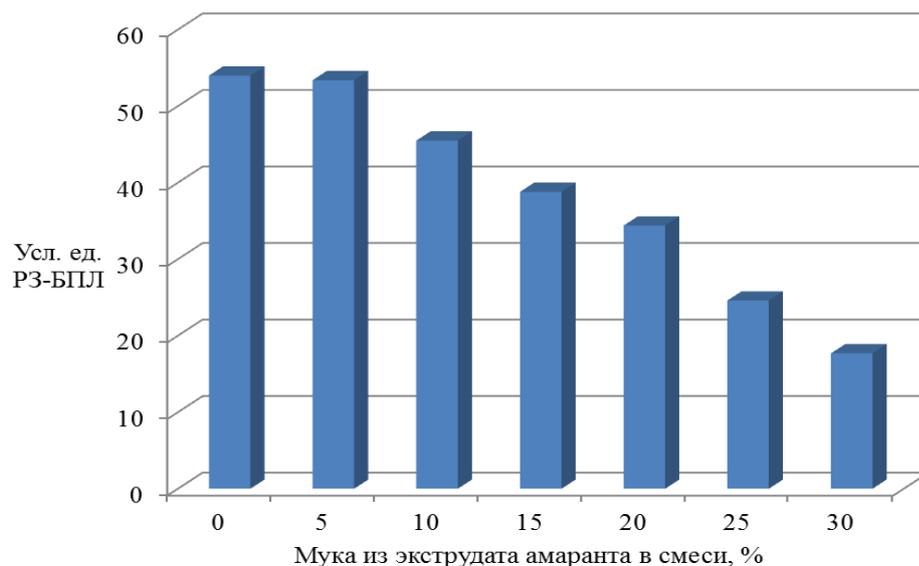


Рисунок 21 – Влияние дозировки муки из экструдата амаранта на белизну мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и муки из экструдата амаранта

На рисунке 22 приведены полученные значения белизны в смесях пшеничной хлебопекарной муки первого сорта с мукой из экструдата амаранта.

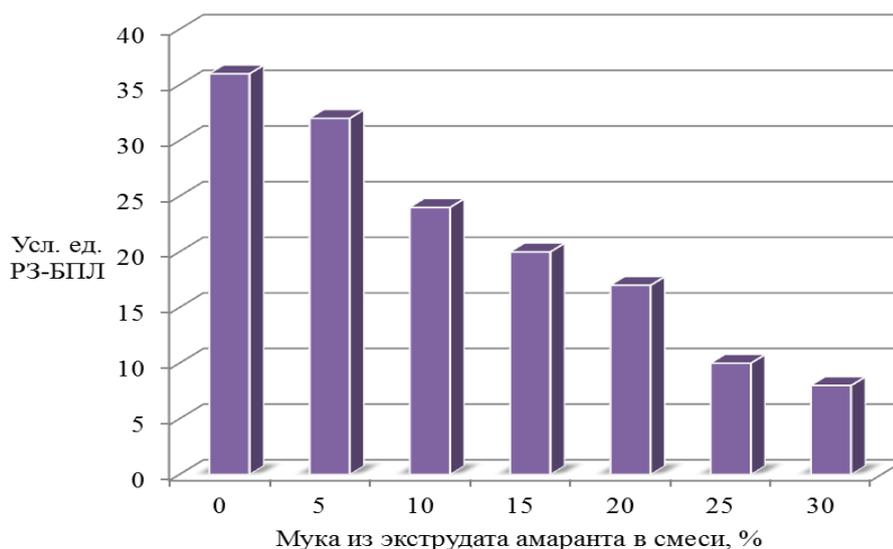


Рисунок 22 - Влияние дозировки муки из экструдата амаранта на белизну мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта

Установлено, что показатель белизны снижается с увеличением дозировки муки из экструдата амаранта в обоих случаях. Отмечено, что смесь пшеничной муки высшего сорта с 15% муки из экструдата амаранта имеет белизну пшеничной муки на уровне первого сорта. Исходя из этого, можно предположить, что изделия, выпекаемые из этой смеси не будут отличаться по цвету от привычного продукта. Допускаем, что изделия, изготовленные из 20%-ной смеси муки из экструдата амаранта и пшеничной высшего сорта будут иметь кремовый оттенок в сравнении с обычным мякишем.

Одним из методов, позволяющих дать характеристику газообразующей способности муки, является определение автолитической активности. Определяется по способности при прогреве водно-мучной суспензии накапливать то или иное количество водорастворимых веществ. Зависит не только от активности собственных амилаз муки, в первую очередь, α -амилазы, но и от степени податливости их действию соответствующих субстратных веществ муки [13].

Полученные результаты приведены на рисунках 23 и 24.

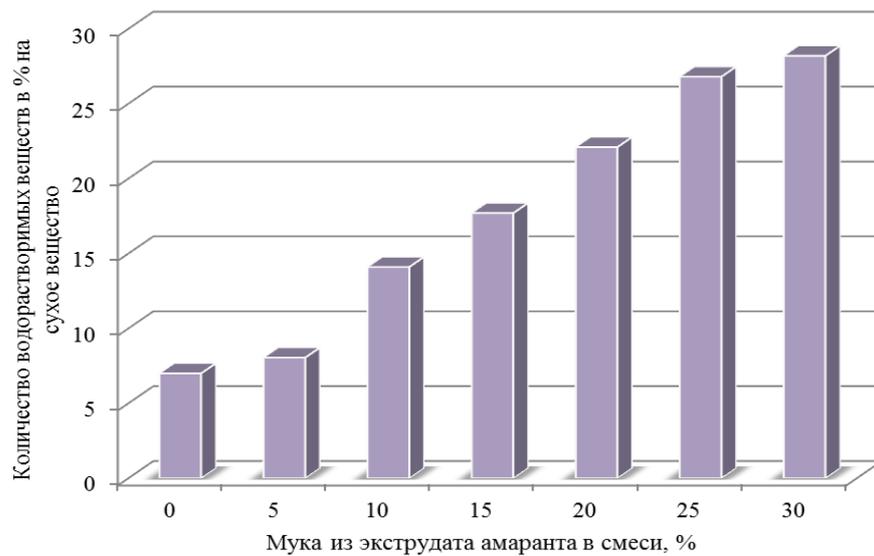


Рисунок 23 – Влияние дозировки муки из экструдата амаранта на автолитическую активность мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и муки из экструдата амаранта

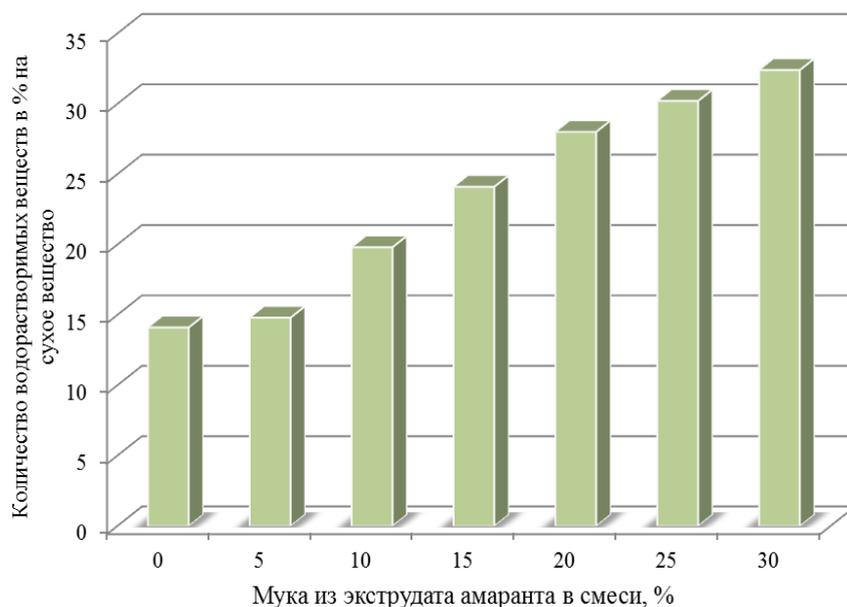


Рисунок 24 - Влияние дозировки муки из экструдата амаранта на автолитическую активность мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта

Исследования показали более высокое содержание водорастворимых веществ в смесях из муки первого сорта по сравнению с мукой пшеничной хлебопекарной высшего сорта. Отмечено повышение автолитической активности муки с увеличением в ней дозировки амарантовой муки. Однако, сделать

однозначный вывод о повышении активности амилолитических ферментов муки в присутствии муки из экструдата амаранта достаточно сложно. Вероятно, повышение водорастворимых веществ в модельных смесях связано с их присутствием в экструдате. Известно, что процесс экструзии сопровождается частичной деструкцией биополимеров зернового сырья с накоплением водорастворимых веществ.

Полученные результаты позволяют положительно оценить потенциал муки из экструдата амаранта в технологиях на основе биотехнологических процессов.

Одним из основных хлебопекарных свойств по отношению к сортовой пшеничной муке считают силу муки, под которой понимают способность муки образовывать тесто, обладающее после замеса, в ходе брожения и расстойки определенными реологическими свойствами [13]. Методы определения силы муки разнообразны. Одним из наиболее применяемых в практике является определение силы пшеничной муки по содержанию и качеству клейковины.

На рисунке 25 представлены результаты определения содержания клейковины в смесях пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта и муки из экструдата амаранта.

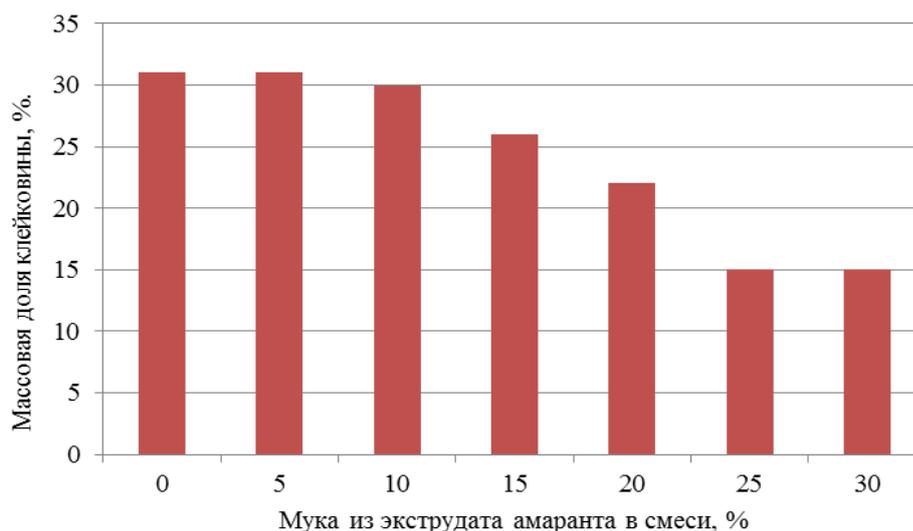


Рисунок 25 – Влияние дозировки муки из экструдата амаранта на содержание клейковины мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и муки из экструдата амаранта

Как показали результаты исследований, увеличение доли муки из экструдата амаранта закономерно приводит к снижению количества клейковины в смеси. При этом реперной точкой можно считать 20%-ную дозировку, т.к. дальнейшее увеличение массовой доли муки из экструдата амаранта определяет характеристику смеси, не позволяющую обеспечить традиционные или близкие к традиционным качественные характеристики готовых изделий. На рисунке 26 показана динамика изменения содержания клейковины в смесях пшеничной хлебопекарной муки первого сорта и муки из экструдата амаранта.

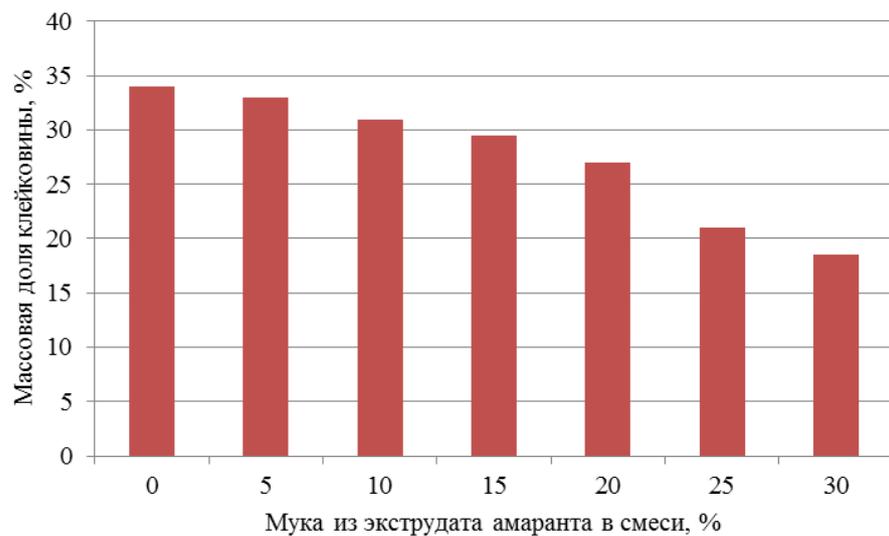


Рисунок 26 – Влияние дозировки муки из экструдата амаранта на содержание клейковины мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта

При сохранении общей зависимости, первый сорт муки пшеничной хлебопекарной может быть смешан с мукой из экструдата амаранта в соотношении 75:25. Но при этом необходимо обратить внимание на то, что проба муки пшеничной хлебопекарной первого сорта, принятая в исследованиях, изначально обладала высокими хлебопекарными свойствами.

Далее рассматривали качество клейковины в исследуемых смесях (рисунок 27 и 28). Снижение качества клейковины мучной смеси при увеличении доли экструдата амаранта вероятно связано с водопоглощительной способностью ингредиентов смеси. Исследования, проведенные нами, показали, что водопоглощительная способность пробы муки пшеничной высшего сорта

составляет 1,97 г/г, в то время как экструдата амаранта – 3,03 г/г. Соответственно, экструдат «оттягивает» на себя воду, препятствуя формированию упругого каркаса клейковины. При этом необходимо отметить, что установленное изменение происходит в пределах 6 ед. ИДК и вряд ли кардинально повлияет на качество готовых изделий.

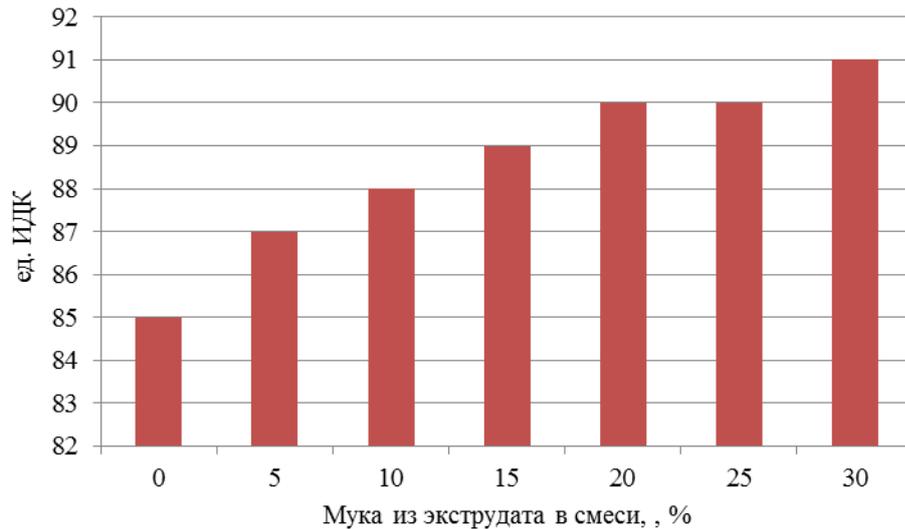


Рисунок 27 – Влияние дозировки муки из экструдата амаранта на качество клейковины мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и муки из экструдата амаранта

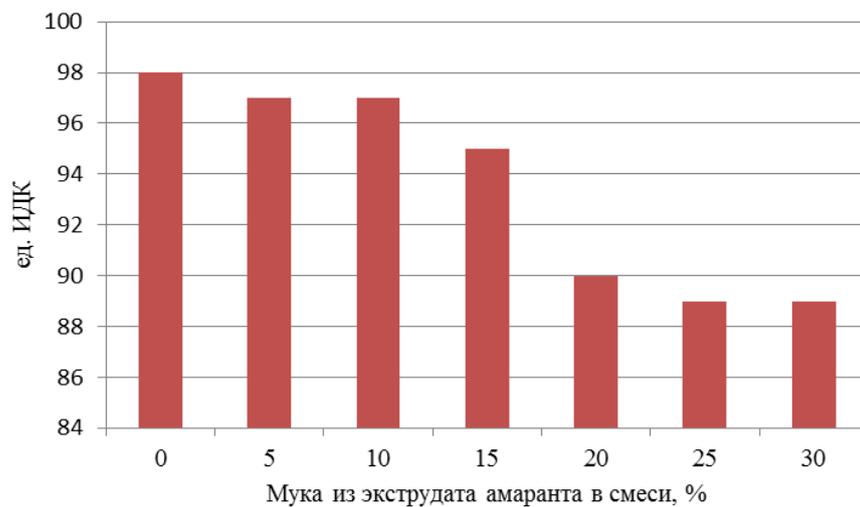


Рисунок 28 – Влияние дозировки муки из экструдата амаранта на качество клейковины мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта

Для муки смеси муки пшеничной хлебопекарной и муки из экструдата амаранта получена другая зависимость. Но и проба муки изначально имела значительно худшую характеристику по ИДК. Помимо перераспределения влаги (водопоглотительная способность пробы муки пшеничной хлебопекарной первого сорта составила 2,11 г/г) в полученной зависимости могли сыграть определенную роль параметры кислотности смеси, а также активность собственных протеолитических ферментов муки. Для подтверждения этой зависимости должен быть проведен блок дополнительных исследований, позволяющих теоретически объяснить полученные закономерности по влиянию муки из экструдата амаранта на качественные характеристики мучных смесей. Но при этом необходимо отметить индивидуальный характер влияния обогащающего ингредиентов в зависимости от характеристик используемых партий муки.

Кислотность муки оказывает серьезное влияние на качество хлеба. Уровень кислотности муки зависит от ее сорта и продолжительности хранения - чем ниже сорт и длительнее период хранения, тем выше кислотность. Использование муки с повышенной кислотностью приводит к повышению кислотности теста и хлеба. Повышенная кислотность муки обуславливает более высокую начальную кислотность теста и, возможно, более быстрое накопление кислот в процессе брожения. Хлеб из муки с повышенной кислотностью получается более кислым, с менее развитой пористостью и пониженным удельным объемом. Мякиш в нижней части изделия может уплотняться. Внешний вид корки ухудшается: корка становится бугристой, цвет коричневым.

Учитывая повышенную кислотность муки из экструдата амаранта, было целесообразным исследовать кислотность мучных смесей. Полученные значения представлены на рисунках 29 и 30.

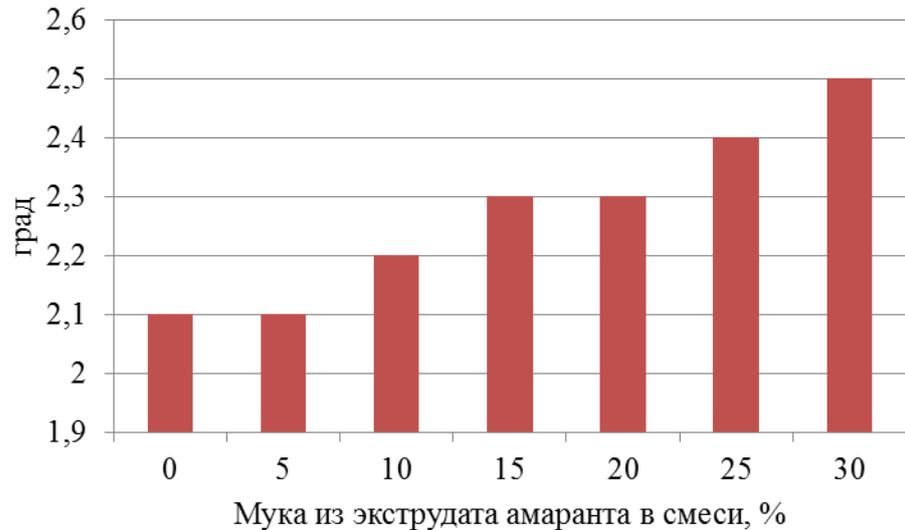


Рисунок 29 - Влияние дозировки муки из экструдата амаранта на кислотность мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и муки из экструдата амаранта

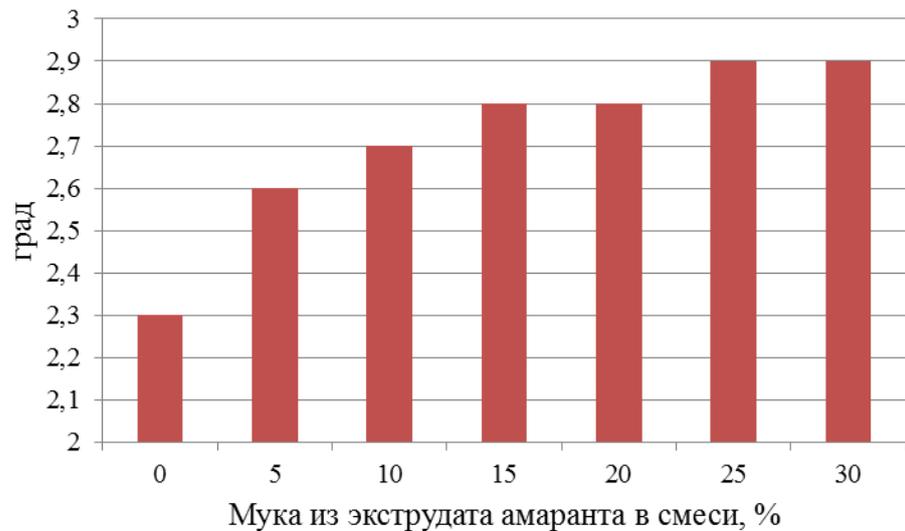


Рисунок 30 - Влияние дозировки муки из экструдата амаранта на кислотность мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта

Установлено повышение кислотности с увеличением дозировки амарантовой муки в смеси в обоих случаях. При этом закономерно кислотность мучных смесей с мукой пшеничной хлебопекарной первого сорта была выше по сравнению с высшим. Повышение дозировки муки из экструдата более 30%

нецелесообразно ввиду достижения в мучных смесях критического значения по кислотности, оказывающего влияние на качество хлебобулочных изделий.

В целом, проведенные исследования хлебопекарных свойств модельных мучных смесей из муки пшеничной хлебопекарной высшего или первого сорта и муки из экструдата амаранта показали, что:

- внесение муки из экструдата амаранта закономерно уменьшает количество клейковины мучной смеси. Дозировка муки из экструдата амаранта, гарантирующая традиционное качество хлебобулочных изделий, во много определяется характеристикой используемых партий муки, но в целом не превышает 20-25%;

- мука из экструдата амаранта оказывает влияние и на качество клейковины, которое определяется его высокой водопоглотительной способностью и перераспределение влаги между основными биополимерами мучной смеси;

- мука из экструдата амаранта повышает автолитическую активность. Соответственно, подтвержден ее потенциал в технологиях, основанных на биотехнологических процессах;

- с позиций обеспечения цвета готовых изделий граничной дозировкой муки из экструдата амаранта является 20%, по кислотности – не более 30%.

Таким образом, обоснована реперная точка дозировки муки из экструдата амаранта, выше которой получить изделия, отвечающие задачам исследования, не представляется возможным – не более 30% от массы муки пшеничной хлебопекарной.

4.8 Исследование влияния муки из экструдата амаранта на хлебопекарные свойства мучных смесей по реологическим свойствам теста

Как отмечено выше, одним из основных хлебопекарных свойств пшеничной муки является ее сила. Сила муки – способность муки образовывать тесто, обладающее после замеса и в ходе брожения определенными реологическими свойствами. Отмечено, что силу муки формируют многие факторы, один

наиболее значимых – содержание белка. Чем больше в муке белка, чем плотнее и прочнее его структура и, следовательно, ниже его атакуемость протеиназой; чем меньше в муке активность протеиназы и активаторов протеолиза (например, восстановленного глутатиона), тем сильнее мука и тем лучше и устойчивее будут реологические свойства теста из нее. Чем выше содержание в муке клейковины и чем лучше ее реологические свойства, тем сильнее мука [132].

Одними из наиболее комплексно описывающих силу муки являются методы, основанные на определении реологических свойств теста.

Информативные данные относительно силы мучных смесей из муки пшеничной хлебопекарной первого и высшего сорта и из экструдата амаранта получали на измерительных комплексах фирмы Brabender – валориграфе, фаринографе, экстенсографе.

Валориграф – прибор, измеряющий и регистрирующий изменения консистенции теста в процессе его образования и созревания. Используя валориграф возможно зафиксировать несколько параметров силы муки, в том числе один из наиболее важных – водопоглотительную способность.

Водопоглотительная способность муки (ВПС) – важный параметр ее качества, влияющий на весь технологический процесс, независимо от типа производимых изделий. Расчет параметра позволяет спрогнозировать фактический выход продукции. На ВПС влияют крупность помола, химический состав муки и другие факторы [123]. Так, ранее рядом исследователей [132] отмечено увеличение ВПС при повышении содержания в муке периферийных частиц зерна. Особенно это касается использования цельносмолотого зерна.

Показатели комплексной характеристики силы модельных мучных смесей, определенные на валориграфе, приведены в таблице 23, валориграммы модельных смесей - в таблице 24.

Как показали результаты исследований, с увеличением доли экструдата амаранта в модельной смеси водопоглотительная способность мучной смеси увеличивается. Что можно объяснить повышенной способностью крахмала и

пищевых волокон экструдата амаранта связывать воду. Водопоглотительные свойства экструдата амаранта установлены нами ранее (рисунок 15).

Таблица 23 – Показатели комплексной характеристики силы мучных смесей

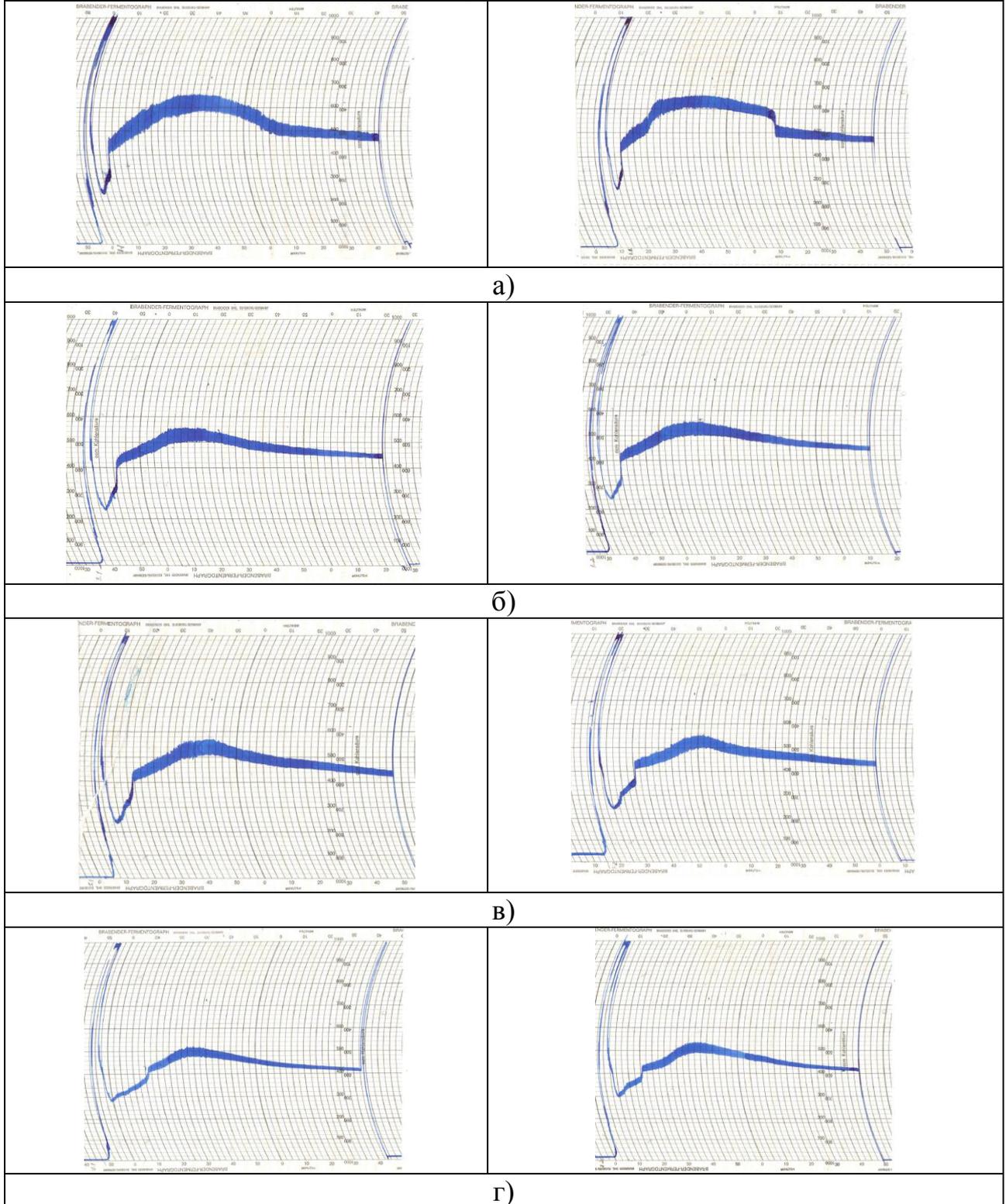
Наименование показателя	Характеристика модельной смеси при соотношении муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и экструдата амаранта в масс. долях			
	90:10	85:15	80:20	70:30
1	2	3	4	5
Водопоглотительная способность, %	57,76	58,42	62,14	62,82
Продолжительность образования теста, мин	4 мин 30с	6 мин 10 с	5 мин 30 с	5 мин 30 с
Устойчивость теста, мин	4 мин 05 с	3 мин 55 с	3 мин 30 с	2 мин 50 с
Разжижение, усл. ед.	90	80	85	85
Валориметрическая оценка, ед. вал.	70	72	72	71

Перераспределением воды в пользу экструдата амаранта и замедлением вследствие этого процесса набухания клейковины может быть обусловлено увеличение продолжительности образования теста. Закономерность прослеживается при дозировке экструдата амаранта до 15%. В дальнейшем показатель снижается и практически стабилизируется. Вероятно, это связано со снижением массовой доли клейковинных белков в модельной смеси, установленным нами ранее (рисунок 25 и 26).

Снижением количества клейковины, по-видимому, обусловлено и уменьшение устойчивости теста, так как именно клейковина формирует трехмерную структуру теста. Разжижение теста определяется как разность между максимально достигнутой при замесе теста консистенцией и консистенцией в конечный момент замеса. Чрезмерное механическое воздействие закономерно приводит к ослаблению консистенции. По-видимому, температурные параметры проведения эксперимента, характерные для связывания воды белковыми веществами, а также более прочное удержание гидратной оболочки на белковых

глобулах определяет меньшее разжижение теста с большей долей пшеничной муки.

Таблица 24 - Валориграммы мучных смесей при соотношении муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и экструдата амаранта в масс. долях: а) 90:10; б) 85:15; в) 80:20; г) 70:30. Слева – повторность №1, справа – повторность №2



Модельные смеси характеризуются близкими значениями валориметрической оценки (таблица 23). В изученных интервалах дозировок экструдата амаранта ухудшение одних характеристик мучной смеси компенсируется улучшением других. Это подтверждает возможность получения хлебобулочных изделий из муки пшеничной хлебопекарной с добавлением до 30% экструдата из амаранта с близкими к традиционным характеристиками структуры мякиша. При этом меньшие изменения формы, внешнего вида и структуры мякиша могут быть достигнуты при дозировке экструдата амаранта в пределах 15%, но больший эффект с позиций повышения пищевой ценности готового продукта – при дозировке до 30% в массе смеси с мукой пшеничной хлебопекарной первого сорта. Окончательное решение о рациональной дозировке экструдата амаранта может быть сделано на основе оценки сенсорных характеристик и пищевой ценности готовой продукции.

Аналогичные реологические исследования теста проведены для смеси муки пшеничной хлебопекарной первого сорта на измерительном комплексе фаринографе фирмы Brabender. Исследования проводили в условиях научно-исследовательской лаборатории технологического факультета Университета Восточного Сараево (Республика Босния и Герцеговина).

Исследования реологических свойств теста на фаринографе позволяют получить ряд характеристик теста, идентичных исследованиям на валориграфе - консистенцию, время образования, эластичность и растяжимость, стабильность (устойчивость), разжижение (размягчение).

Фаринограммы контроля – муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и модельных смесей при соотношении муки пшеничной и муки из экструдата амаранта в масс. долях 90:10 и 80:20 приведены на рисунке 32. Усредненные значения испытаний 2-х проб – в таблице 25.

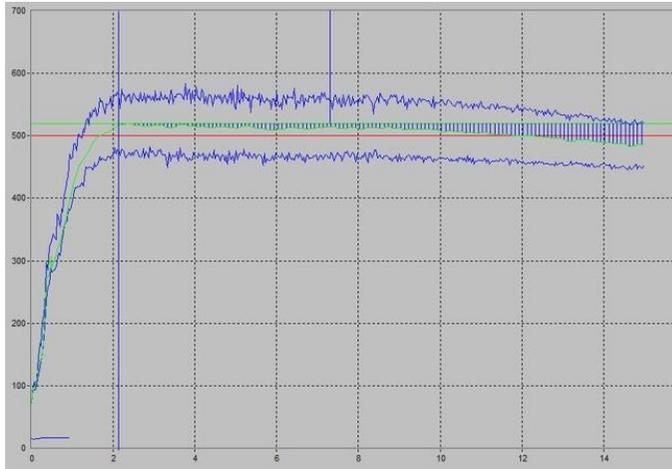
Традиционно рекомендуют испытывать различные образцы при постоянном численном значении максимума консистенции теста 500 ЕФ, что достигается варьированием массы воды на замес теста. В проведенных исследованиях было принято решение сохранения влажности теста для сравнения полученных

реологических характеристик. Это привело к изменению показателя консистенции теста и необходимости интерпретации результатов с учетом этого фактора.

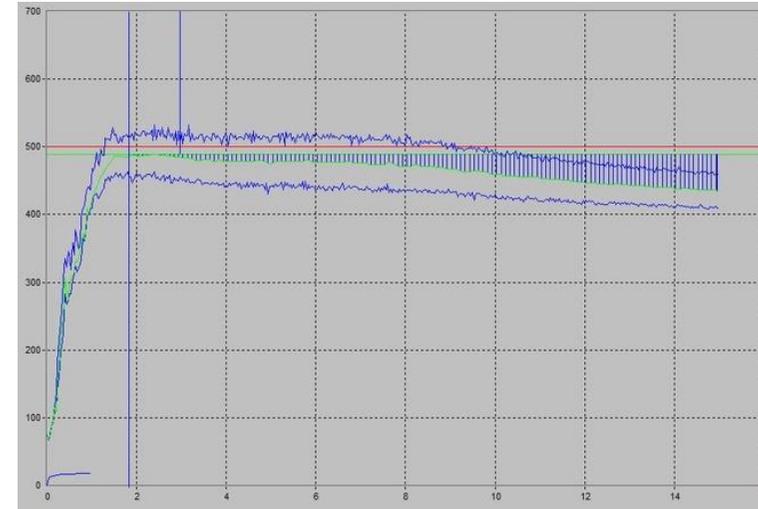
Таблица 25 - Показатели комплексной характеристики силы мучных смесей

Наименование показателя	Характеристика модельной смеси при соотношении муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и экструдата амаранта в масс. долях		
	100:0 (контроль)	90:10	80:20
Консистенция теста, усл.ед.	519	489	500
Время образования теста, мин	2,1	1,8	4,8
Стабильность теста, мин	5,2	1,1	1,6
Разжижение теста, усл.ед.	33	55	88
Водопоглотительная способность, %	61,8	64,0	65,0
Число качества по фаринографу, ЕФ	78,6	69,3	62,5

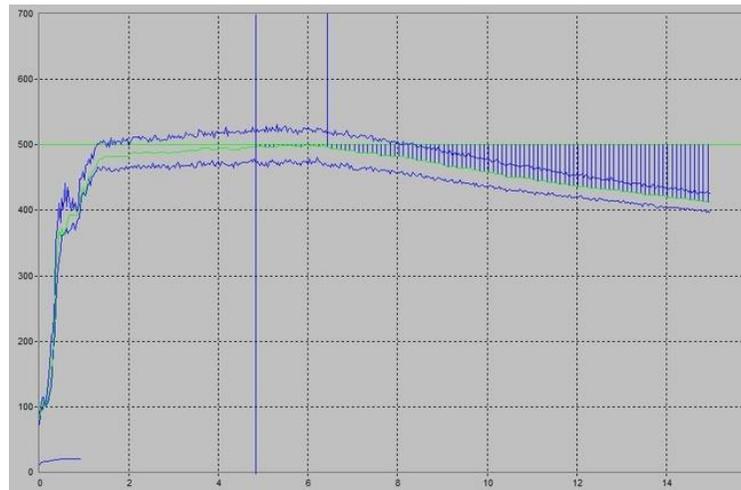
Как показали результаты исследований, в целом повторяются установленные ранее в реологических исследованиях на валориграфе закономерности. С увеличением дозировки муки из экструдата амаранта увеличивается время образования теста и его водопоглотительная способность. Что коррелирует с увеличением в смеси пищевых волокон и крахмала амаранта, оттягиванием ими воды при формировании структуры теста и, соответственно, увеличением продолжительности замеса. При этом по сравнению с контролем снижается стабильность теста, характеризующая длительность сохранения тестом максимального уровня консистенции при замесе. Снижение содержания клейковины в мучной смеси не позволяет тесту сохранять консистенцию при механическом воздействии в период замеса. И, если в исследованиях на валориграфе показатель разжижения колеблется в пределах 80-90 усл. ед, то при исследованиях на фаринографе этот показатель изменяется существенно, особенно по сравнению с контролем.



а



б



в

Рисунок 32 – Фаринограммы муки и мучных смесей: а – мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (контроль); б,в – смесь из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта соответственно при соотношении в мас. долях 90:10, 80:20

В целом, комплексная оценка показывает ожидаемое снижение силы муки и, соответственно, качества готовых изделий при увеличении дозировки муки из экструдата амаранта. Уровень проявления этой закономерности в блоке исследований на фаринографе, по-видимому, связано с более высокими хлебопекарными свойствами муки, принятой за основу в модельных смесях. При этом даже такие результаты позволяют прогнозировать снижение традиционного качества не более чем на 20%. Что вполне приемлемо с точки зрения потребителей для обогащенных хлебобулочных изделий.

В условиях научно-исследовательской лаборатории технологического факультета Университета Восточного Сараево (Республика Босния и Герцеговина) проведены реологические исследования муки пшеничной хлебопекарной первого сорта (проба а) и смесей муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта при соотношении в масс. долях 90:10, 85:15, 80:20 (соответственно пробы б, в, г) на экстенсографе. В этих исследованиях кривую зависимости растяжимости теста от нагрузки используют для оценки качества муки и ее реакции на внесение улучшающих, в нашем случае обогащающих добавок. Результаты исследований приведены в таблицах 26-29 и на рисунке 33.

Основными характеристиками, позволяющими оценивать хлебопекарные свойства муки по реологическим свойствам теста, полученного в результате исследования на экстенсографе, являются устойчивость теста к растягиванию и растяжимость до разрыва. По площади записанной кривой определяют энергию. Энергия характеризует работу, затраченную на растягивание образца теста. Отношение устойчивости к растяжимости используют как дополнительный фактор для описания свойств теста.

Таблица 26 – Числовые значения экстенсограммы пробы *a*

Показатель/Продолжительность отлежки, мин	45	90	135
Устойчивость, ЕЭ	366	434	456
Максимальная устойчивость, ЕЭ	511	623	642
Энергия, затраченная на растяжение пробы теста, см ²	117	130	138
Растяжимость, мм	167	158	163
Отношение устойчивости на 50 мм к растяжимости	2,2	2,8	2,8
Отношение максимальной устойчивости к растяжимости	3,1	3,9	3,9

Таблица 27 – Числовые значения экстенсограммы пробы *б*

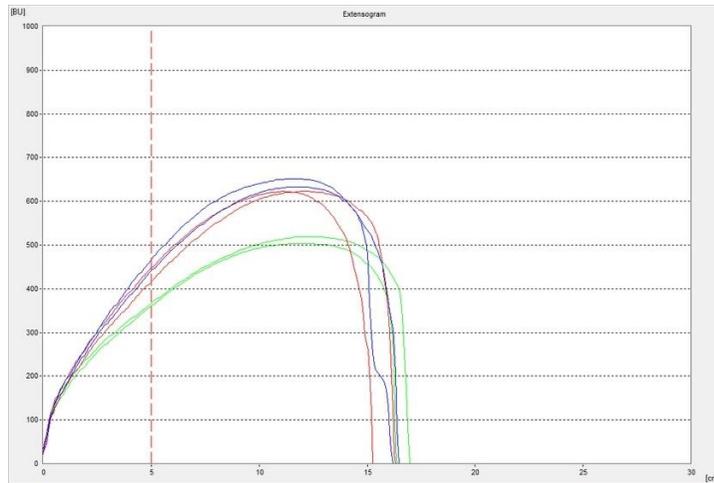
Показатель/Продолжительность отлежки, мин	45	90	135
Устойчивость, ЕЭ	341	494	568
Максимальная устойчивость, ЕЭ	461	643	706
Энергия, затраченная на растяжение пробы теста, см ²	95	118	132
Растяжимость, мм	152	140	134
Отношение устойчивости на 50 мм к растяжимости	2,2	3,5	4,0
Отношение максимальной устойчивости к растяжимости	3,0	4,6	5,1

Таблица 28 – Числовые значения экстенсограммы пробы *в*

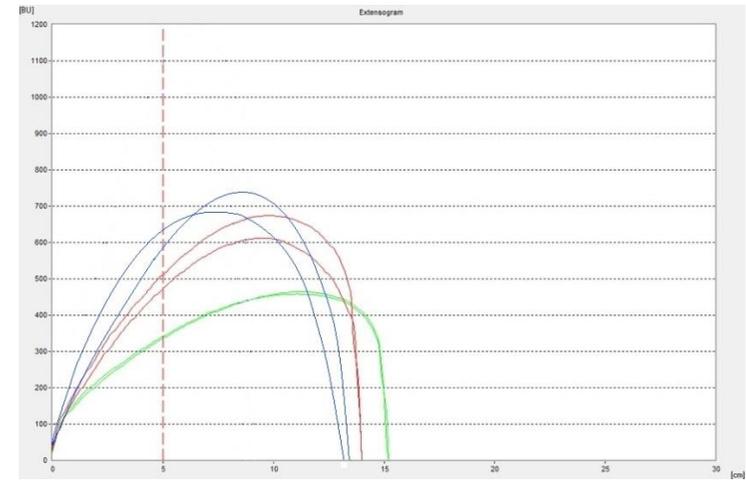
Показатель/Продолжительность отлежки, мин	45	90	135
Устойчивость, ЕЭ	324	440	589
Максимальная устойчивость, ЕЭ	410	476	685
Энергия, затраченная на растяжение пробы теста, см ²	84	102	112
Растяжимость, мм	148	125	128
Отношение устойчивости на 50 мм к растяжимости	2,2	3,5	4,6
Отношение максимальной устойчивости к растяжимости	2,8	4,5	5,4

Таблица 29 – Числовые значения экстенсограммы пробы *г*

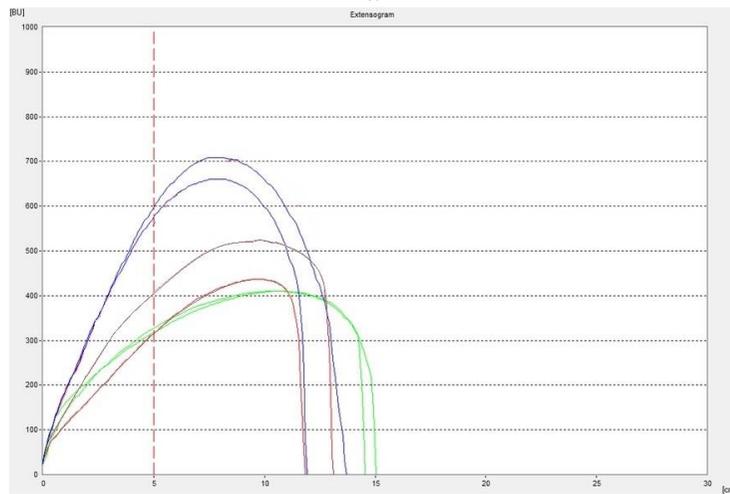
Показатель/Продолжительность отлежки, мин	45	90	135
Устойчивость, ЕЭ	320	460	607
Максимальная устойчивость, ЕЭ	444	586	699
Энергия, затраченная на растяжение пробы теста, см ²	86	111	105
Растяжимость, мм	151	147	122
Отношение устойчивости на 50 мм к растяжимости	2,1	3,1	5,0
Отношение максимальной устойчивости к растяжимости	3,0	4,0	5,7



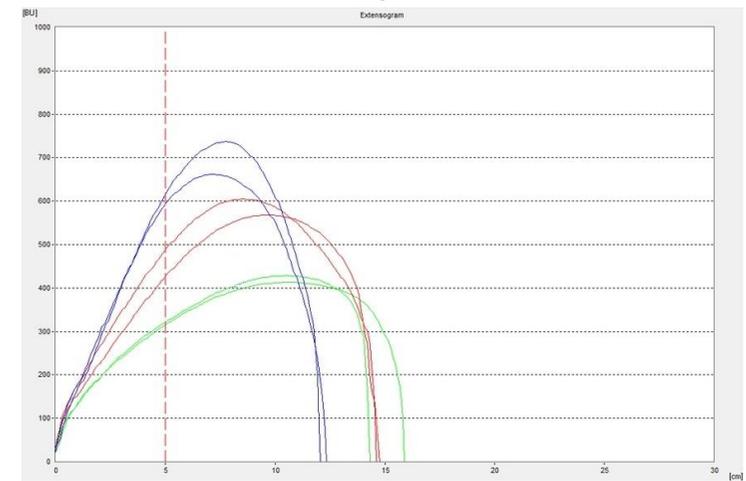
а



б



в



г

Рисунок 33 – Экстенсограммы муки и мучных смесей: а – мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (контроль); б, в, г – смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта соответственно при соотношении в масс. долях 90:10, 85:15, 80:20

Как показали результаты исследований, с увеличением дозировки муки из экструдата амаранта устойчивость теста через 45 мин после замеса снижается. Однако через 90 и 135 минут этот показатель с ростом дозировки муки из экструдата амаранта возрастает. В связи с этим можно обсуждать два варианта. Во-первых, связывание влаги пищевыми волокнами и крахмалом экструдата и их прочное удерживание при набухании последних. Во-вторых, влияние протеолитических ферментов муки на клейковину теста при стабилизации структуры теста с экструдатом пищевыми волокнами и крахмалом. При этом энергия, затраченная на растяжение пробы, снижается с увеличением доли муки из экструдата амаранта. Закономерно снижается растяжимость, как результат уменьшения содержания клейковины и дефицита влаги на ее набухание. Увеличивается отношение устойчивости к растяжимости, что также подтверждает снижение силы мучных смесей при увеличении дозировки муки из экструдата амаранта. С увеличением доли муки из экструдата амаранта возможно снижение объема хлеба, ухудшение структуры пористости и ее снижение в целом. При этом динамика полученных результатов показывает целесообразность применения однофазных, возможно ускоренных технологий получения хлеба с использованием муки из экструдата амаранта или применение большой густой опары с минимизацией периода брожения теста, при замесе которого целесообразно вносить обогащающий ингредиент.

В целом полученные результаты подтверждают установленные ранее закономерности по снижению силы мучных смесей при увеличении в них доли муки из экструдата амаранта и необходимости установления верхнего граничного значения, обеспечивающего обогащающий эффект при допустимом уровне сенсорных характеристик готовых хлебобулочных изделий.

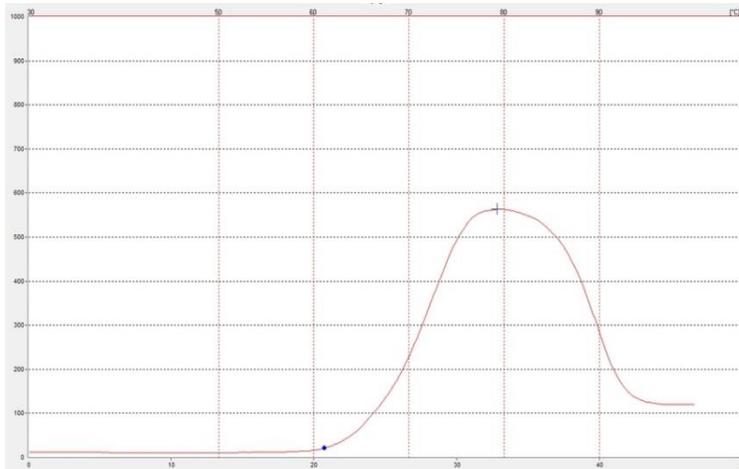
4.9 Исследование влияния муки из экструдата амаранта на хлебопекарные свойства мучных смесей с применением амилографа

Оценивая влияние муки из экструдата амаранта на хлебопекарные свойства целесообразно оценить и углеводно-амилазный комплекс мучной смеси. В условиях научно-исследовательской лаборатории технологического факультета Университета Восточного Сараево (Республика Босния и Герцеговина) муку пшеничную хлебопекарную первого сорта и смеси муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта исследовали на амилографе. Метод основан на определении вязкости водно-мучной суспензии в ходе ее клейстеризации при нагревании с применением амилографа с целью выявления влияния амилолитических ферментов, в первую очередь более термостойкой α -амилазы, и свойств крахмала зерна или муки на процесс клейстеризации. По результатам исследований определяют максимальную амилографическую вязкость и температурные параметры клейстеризации.

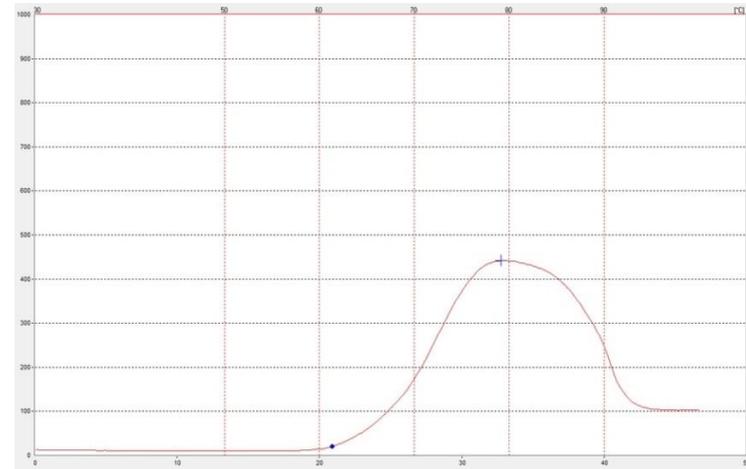
Результаты исследований, представленные в таблице 30 и на рисунке 34, характеризуют максимум клейстеризации образцов смесей, температуру начала и максимума клейстеризации.

Таблица 30 – Числовые характеристики амилограмм муки и мучных смесей

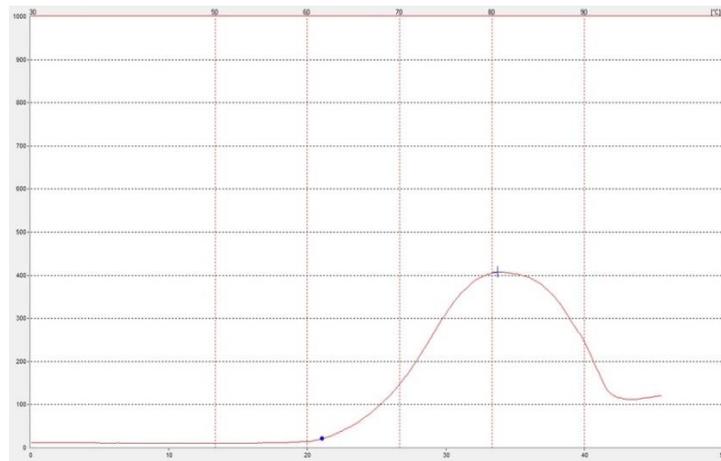
Наименование показателей	Проба			
	Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта	смеси муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта при соотношении ингредиентов, в масс.долях		
		90:10	85:15	80:20
Вязкость max, ЕА	563	442	407	353
Температура начала клейстеризации, °С	61,1	61,4	61,6	62,8
Температура клейстеризации, °С	79,3	79,1	80,6	81,6



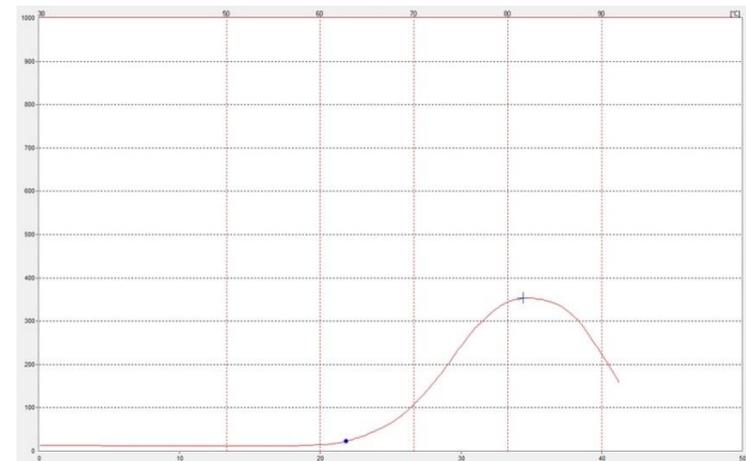
а



б



в



г

Рисунок 34 – Амилограммы муки и мучных смесей: а – мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (контроль); б, в, г – смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта соответственно при соотношении в масс.долях 90:10, 85:15, 80:20

Установлено что с увеличением массовой доли муки из амаранта максимальная амилографическая вязкость мучной смеси снижается. Это закономерно связано со снижением доли нативного крахмала в смесях за счет замещения частично клейстеризованным крахмалом экструдата амаранта. Кроме того, в самом амаранте содержание крахмала ниже, чем в пшеничной муке.

Возможно и другое объяснение полученному явлению. Крахмал амаранта характеризуется высоким содержанием амилопектина (от 88 до 98%), который расщепляется быстрее, чем амилоза. Гранулы крахмала амаранта имеют сферическую форму и диаметр в диапазоне от 1,5 до 3,0 мкм. Это меньше, чем у крахмалов других зерновых культур [166]. В среднем температура клейстеризации крахмала амаранта составляет 69-72 °С. При этом температура клейстеризации пшеничного крахмала составляет 60-67 °С [13]. Соответственно, это объясняет незначительный рост температуры начала и максимума клейстеризации с увеличением доли муки из экструдата амаранта. Увеличение температурных параметров может сказаться на состоянии мякиша хлеба с экструдатом амаранта, так как температурные параметры смеси сдвинуты в сторону оптимальных значений α -амилазы. Соответственно, с позиций обоснования технологий хлеба с мукой экструдата амаранта целесообразно выбирать ускоренные однофазные или, как отмечено ранее технологию на большой густой опаре с минимизацией продолжительности процесса созревания теста после внесения муки экструдата из амаранта.

В целом полученные результаты показывают, что внесение муки из экструдата амаранта в рецептурную смесь хлебобулочных изделий снижает хлебопекарные свойства, как в части белково-протеиназного комплекса, так и углеводно-амилазного. Соответственно необходим поиск рациональной дозировки муки из экструдата амаранта для обеспечения, как отмечено ранее, целевой функции – обогащения хлебобулочного изделия при сохранении приемлемого для потребителей уровня сенсорных характеристик.

5 РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ХЛЕБА С МУКОЙ ИЗ ЭКСТРУДАТА АМАРАНТА

5.1 Моделирование структуры смеси из муки пшеничной хлебопекарной и муки из экструдата амаранта

Результаты изучения влияния муки из экструдата амаранта на хлебопекарные свойства мучных смесей и, соответственно, прогнозируемое качество готовой продукции, показали целесообразность определения реперных точек рецептурной смеси. При этом в условиях производства необходимо обеспечить не только технологические характеристики хлебопекарной смеси и стабильные органолептические и физико-химические показатели хлебобулочных изделий, но и наличие необходимого содержания нутриентов в соответствии с требованиями к продуктам функционального назначения. В связи с высокой корреляцией органолептических и физико-химических характеристик хлебобулочных изделий в дальнейшем в этом разделе будем обсуждать первую из них. Для решения поставленной задачи предлагается методика расчета хлебопекарной смеси с двумя направлениями обогащения, одно из которых является основным, а второе используется для дополнительного повышения пищевой ценности по показателю, не связанному с основным. Методика содержит математические модели для расчета долей компонентов и модели для анализа полученных решений.

Цель анализа – определить чувствительность полученных решений к нестабильности состава компонентов, что особенно характерно для обогащающих добавок. Именно нестабильность зачастую ограничивает и удорожает производство обогащенных изделий на предприятиях малой мощности или при производстве небольших партий изделий, что характерно для обогащенных хлебобулочных изделий.

Стандартный подход - решение задачи линейного программирования на составление смеси и последующий, так называемый, постоптимальный анализ,

не может быть использован в виду того, что имеет место нестабильность свойств и характеристик компонентов, и рассматривается как основа для построения модели расчета структуры хлебопекарной смеси в виде задачи стохастического программирования. Математическая модель задачи предусматривает определение целевой функции, ограничений и граничных условий [189].

Стандартная задача линейного программирования с целевой функцией

$$F = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max(\min, \text{Const}), \text{ограничениями } \sum_{j=1}^n x_j = 1, \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i,$$

и граничными условиями $d_j \leq x_j \leq D_j$, $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$, интерпретируются следующим образом - целевая функция характеризует содержание основного нутриента в смеси, как правило, определяется максимум целевой функции. В качестве таких веществ можно рассматривать микро- и макронутриенты, перечень которых соответствует [70, 71]. Искомые значения переменных x_j – доли компонентов. Коэффициенты c_j в целевой функции – это лабораторно определяемые содержания нутриента в компонентах смеси. Первое ограничение логично для данной постановки задачи: сумма долей компонентов равна единице. Коэффициенты a_{ij} в ограничениях – содержание в компонентах веществ, определяющих технологические и органолептические показатели смеси, b_i – предельно допустимые значения этих показателей. Эти ограничения связаны с технологическими требованиями к хлебопекарным свойствам смеси и предпочтениями потребителей. Только при определенном наборе хлебопекарных свойств мучная композиция может обеспечить традиционное или близкое к традиционному качество хлебобулочных изделий – внешний вид, вкус, аромат и другие сенсорные характеристики.

Если входящие в ограничения величины a_{ij} и b_i являются случайными, то i -ые ограничения записываются так:

$$P \left[\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \right] \geq \alpha_i ,$$

где α_i – заданная вероятность, с которой должно быть выполнено i -ое ограничение.

Объединяя целевую функцию, ограничения, и граничные условия, сформулирована M – постановка задачи стохастического программирования [85, 192] как задачи составления смеси при максимизации среднего значения целевой функции (1), n – число компонент смеси, m – число ограничений:

$$\left\{ \begin{array}{l} M[F] \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n x_j = 1, \\ P \left[\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \right] \geq \alpha_i, \\ d_j \leq x_j \leq D_j, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n} \end{array} \right. \quad (1)$$

Для решения задачи (1) использован детерминированный эквивалент:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \sum_{j=1}^n M[c_j] x_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n M[a_{ij}] x_j \pm t(\alpha_i) W_i \leq M[b_i], \\ W_i = \sqrt{\sigma^2 [a_{ij}] x_j^2 + \sigma^2 [b_i]}, \\ \sum_{j=1}^n x_j = 1, \quad d_i \leq x_j \leq D_j, \\ i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Здесь α_i – задаваемые уровни вероятности, $t(\alpha_i)$ – обратное значение стандартного нормального распределения, величина W_i характеризует вариации значений a_{ij} и b_i (σ^2 - дисперсии a_{ij} и b_i соответственно). В случае детерминированных исходных данных - $W_i = 0$.

Член $t(\alpha_i)W_i$ учитывает вероятностную природу содержания веществ в компонентах, это как бы дополнительная величина вещества (содержание клейковины или зольность), которую необходимо учесть для выполнения ограничений. Знак «-» для ограничений типа «не менее» (по содержанию клейковины), знак «+» для ограничений типа «не более» (по зольности).

Исходя из сущности ограничений, будем считать, что вероятностную природу имеют только коэффициенты a_{ij} – содержание в компонентах веществ, определяющих технологические и органолептические показатели смеси, а b_i – предельно допустимые значения этих показателей детерминированные, и $\sigma^2[b_i]=0$. Тогда расчетные зависимости (2) имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \sum_{j=1}^n M[c_j]x_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n M[a_{ij}]x_j \pm t(\alpha_i)W_i \leq M[b_i], \\ W_i = \sqrt{\sigma^2[a_{ij}]x_j^2}, \\ \sum_{j=1}^n x_j = 1, \quad d_i \leq x_j \leq D_j, \\ i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Выполненная постановка задачи является определяющей в предлагаемой методике расчета структуры двухкомпонентной хлебопекарной смеси для производства обогащенных изделий с учетом нестабильности содержания нутриентов. Решение задачи позволяет определить структуру смеси, обеспечивающей заданные свойства готового изделия [189]. По результатам задачи могут быть выполнены дополнительные исследования, такие как:

1. Определение зависимости оптимального значения целевой функции от вариации характеристик компонент смеси.
2. Определение зависимости оптимального значения целевой функции от α_i – вероятности, с которой должно быть выполнено i -ое ограничение.
3. Определение зависимости между значениями технологических характеристик и содержанием конкретного нутриента.
4. Определение зависимости между значениями потребительских характеристик и содержанием конкретного нутриента.

Предложенная методика была использована для расчета двухкомпонентной смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта.

Ниже приведены результаты исследований для задачи составления смеси с максимальным содержанием нутриента (пищевого вещества) «Растительный белок» при заданных уровнях клейковины (технологический параметр) и зольности. Поскольку зольность определяет цвет мякиша готового изделия, она была выбрана как ограничение, связанное с предпочтениями потребителей. Размерность модели (3): $n=2, m=2$.

Дополнительно к модели (3) рассчитывается содержание кальция в смеси (не менее) с учетом стохастичности по формуле 4:

$$M[Ca] = \sum_{j=1}^n M[a_{ij}]x_j - t(\alpha_i)W_i, \quad W_i = \sqrt{\sigma^2[a_{ij}]x_j^2} \quad (4)$$

Аналогично (4) вычисляется и содержание пищевых волокон.

Введены следующие обозначения: x_1 – доля муки пшеничной, x_2 – доля муки из экструдата амаранта.

Математические ожидания значений коэффициентов целевой функции и ограничений для модели (3) и зависимостей (4) приведены в таблице 31 [70; 71].
Таблица 31 – Значения и математические ожидания значений коэффициентов целевой функции и ограничений

Наименование коэффициента	Обозначение	Значение коэффициента
1	2	3
Математическое ожидание содержания белка в пшеничной муке, %	$M[c_1]$	10,6
в муке из экструдата амаранта, %	$M[c_2]$	27,5
Математическое ожидание содержания клейковины в пшеничной муке, %	$M[a_{11}]$	30
в муке из экструдата амаранта, %	$M[a_{12}]$	0
Математическое ожидание зольности в пшеничной муке, % на СВ	$M[a_{21}]$	0,75
в муке из экструдата амаранта, % на СВ	$M[a_{22}]$	8,92

Продолжение таблицы 31

1	2	3
Математическое ожидание содержания пищевых волокон в пшеничной муке, г/100г в муке из экструдата амаранта, г/100г	$M[a_{31}]$ $M[a_{32}]$	0,2 3,2
Математическое ожидание содержания кальция в пшеничной муке, мг/100г в муке из экструдата амаранта, мг/100г	$M[a_{41}]$ $M[a_{42}]$	24 450
Предельно допустимое содержание кальция в смеси, мг/100г	b_4	не ограничено
Предельно допустимое содержание пищевых волокон в смеси, %	b_3	не ограничено
Нижняя граница пшеничной муки, доля муки из экструдата амаранта, доля	d_1 d_2	0,6 0,1
Верхняя граница пшеничной муки, доля муки из экструдата амаранта, доля	D_1 D_2	0,9 0,4
Предельно допустимое содержание клейковины в смеси, %	b_1	Не менее а) 25 б) 23
Предельно допустимое показателя зольности смеси, % на СВ	b_2	Не менее 0,75 не более 8,0
Математическое ожидание содержания белка в пшеничной муке, % в муке из экструдата амаранта, %	$M[a_{21}]$ $M[a_{22}]$	10,6 27,5
Предельно допустимое содержание белка, %		Не менее 10,6 не более 40 (суточная потребность в растительном белке [106])

Значение дисперсий $\sigma^2[]$ определялось по заданному коэффициенту вариации из соотношений: $v[a_{i,j}] = \sigma[a_{i,j}] / M[a_{i,j}]$ и, где $\sigma[]$ - среднее квадратическое отклонение, $M[]$ - математическое ожидание. В контексте данной постановки задачи вариация $v[b_i] = 0$, т.е. содержание клейковины и зольность смеси определены предельно допустимыми значениями.

Результат решения задачи показал, что очень сильным лимитирующим ограничением является содержание клейковины в смеси, при минимально допустимом уровне 25 % задача не имеет допустимого решения при уровне вариации характеристик в 10%. Решения для заданной вероятности выполнения ограничений $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,8$ приведено в таблице 32.

Таблица 32 – Расчетные значения рецептурного и нутриентного состава смеси (вероятность выполнения ограничений 0,8) при содержании клейковины не менее 25%

Коэффициент вариации	Доля муки пшеничной	Доля муки из экструдата амаранта	Содержание белка, %	Содержание кальция, мг/100г	Содержание пищевых волокон, %	Содержание клейковины, %	Зольность, %
0	0,83	0,17	13,417	95	0,7	25,00	2,11
0,05	0,87	0,13	12,798	76,79	0,57	25,00	1,87
0,08	0,89	0,11	12,4	65,84	0,49	25,00	1,70
0,1						решения нет	

Решение задачи максимизации содержания белка в смеси при снижении минимально допустимого содержания клейковины до 23% приведено в таблице 33.

Решения, представленные в таблицах 32 и 33, содержат вторую линию обогащения по кальцию и пищевым волокнам.

Таблица 33 – Расчетные значения рецептурного и нутриентного состава смеси (вероятность выполнения ограничений 0,8) при содержании клейковины не менее 23%

Коэффициент вариации	Доля муки пшеничной	Доля муки из экстрадата амаранта	Содержание белка, %	Содержание кальция, мг/100г	Содержание пищевых волокон, %	Содержание клейковины, %	Зольность, %
0	0,77	0,23	14,543	123,4	0,9	23,00	2,66
0,05	0,8	0,2	13,974	105,19	0,77	23,00	2,46
0,08	0,82	0,18	13,608	94,27	0,69	23,00	2,32
0,1	0,84	0,16	13,353	86,99	0,64	23,00	2,21
0,12	0,85	0,15	13,088	79,71	0,59	23,00	2,10
0,15	0,88	0,12	12,671	68,76	0,51	23,00	1,91
0,2						решения нет	

Проанализируем влияние стохастического фактора – вероятности выполнения технологического ограничения по клейковине и органолептического ограничения по зольности на величины содержания белка, кальция и пищевых волокон в смеси (при заданном коэффициенте вариации содержания пищевых веществ в компонентах смеси $v = 0,05$ и $v = 0,1$).

Результаты расчетов приведены в таблице 34.

Таблица 34 - Расчетные значения рецептурного и нутриентного состава смеси для заданных вероятностей выполнения ограничений

Вероятность выполнения ограничений	Доля муки пшеничной	Доля муки из экстрадата амаранта	Содержание белка, %	Содержание кальция, мг/100г	Содержание пищевых волокон, %	Зольность, %
1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент вариации пищевых веществ в муке пшеничной и амаранте 0,05						
0,7	0,79	0,21	14,194	112,05	0,82	2,54
0,8	0,8	0,2	13,974	105,19	0,77	2,46
0,9	0,82	0,18	13,656	95,67	0,7	2,34

Продолжение таблицы 34

1	2	3	4	5	6	7
0,95	0,84	0,16	13,382	87,82	0,65	2,23
0,997	0,89	0,11	12,48	63,91	0,48	1,82
Коэффициент вариации пищевых веществ в муке пшеничной и амаранте 0,1						
0,7	0,81	0,19	13,826	100,71	0,74	2,4
0,8	0,84	0,16	13,353	86,99	0,64	2,21
0,9	0,88	0,12	12,639	67,93	0,51	1,9
0,95	Решения нет					

Результаты анализа зависимостей содержания белка и кальция в двухкомпонентной смеси от вероятности выполнения ограничений по клейковине и зольности показаны на рисунке 35 и 36 соответственно. Графики зависимостей показывают, что содержание белка и кальция в смеси незначительно снижаются с ростом вероятности выполнения ограничений и остаются на высоком уровне.

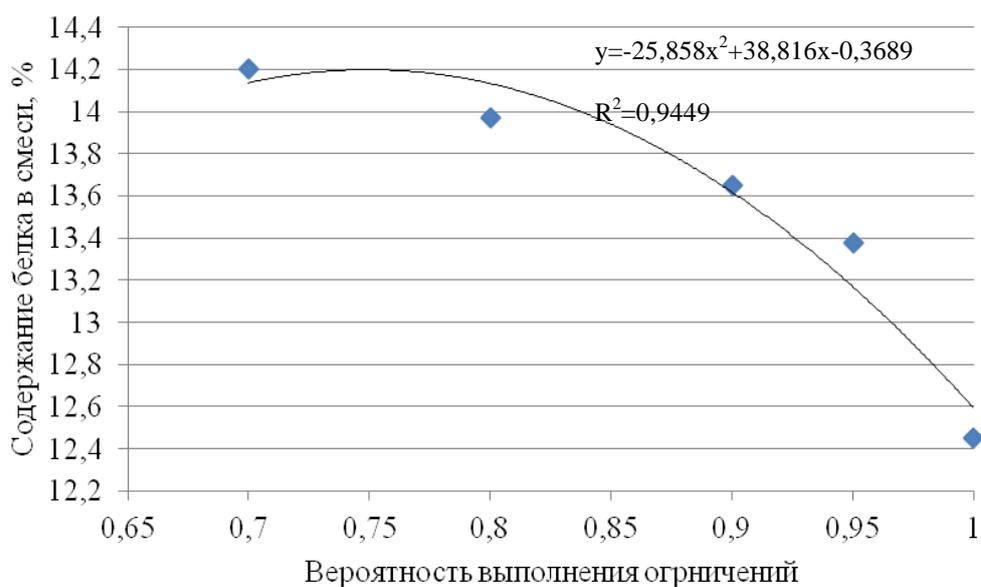


Рисунок 35 - Содержание белка в смеси в зависимости от вероятности выполнения ограничений, коэффициент вариации 0,05

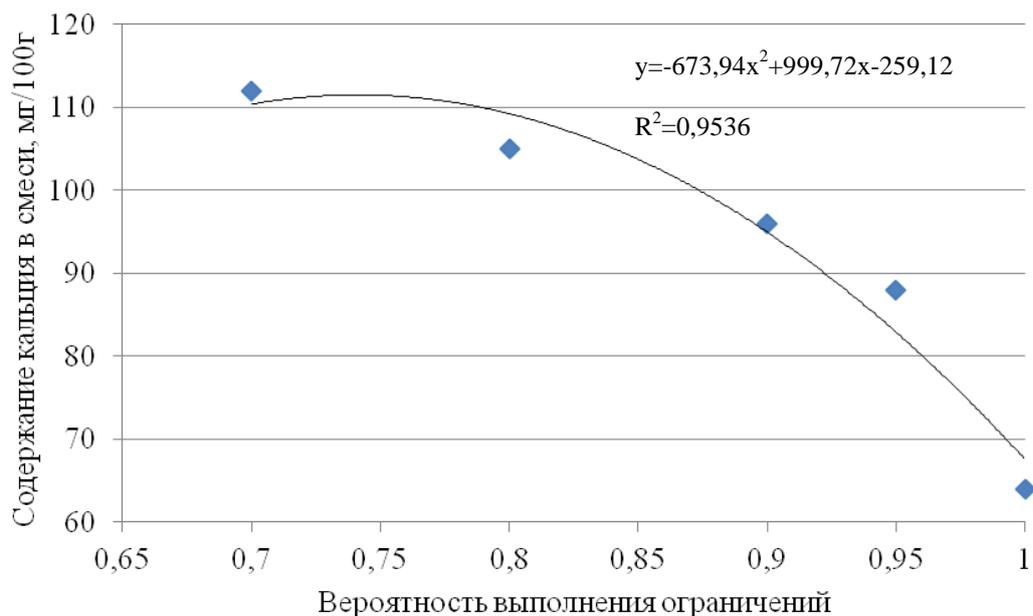


Рисунок 36 - Содержание кальция в смеси в зависимости от вероятности выполнения ограничений, коэффициент вариации 0,05

На рисунке 37 приведены зависимости содержания белка в смеси от коэффициента вариации нутриентов в компонентах смеси. Содержание белка также высокое.

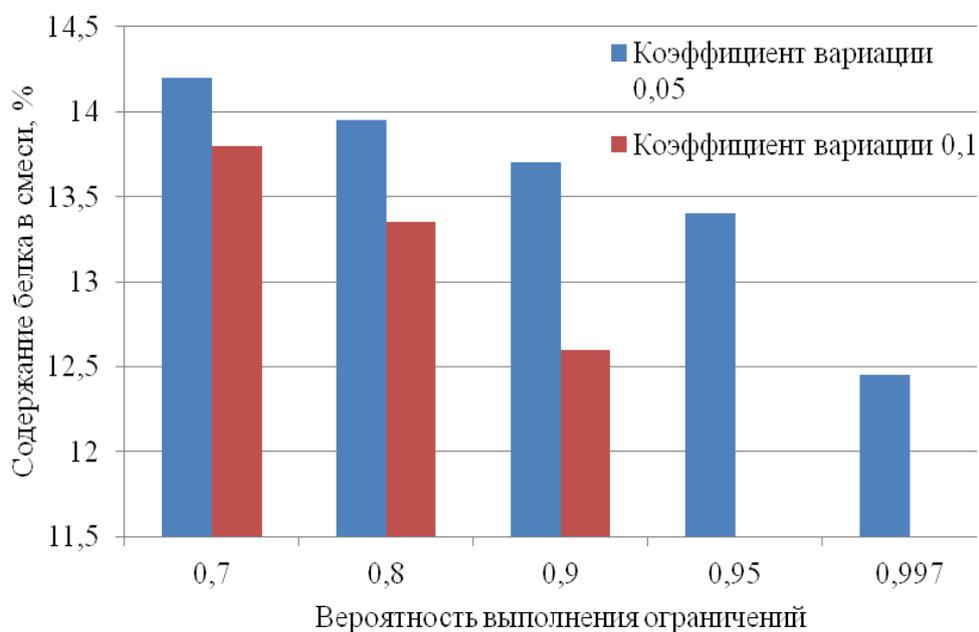


Рисунок 37 - Содержание белка в смеси в зависимости от вероятности выполнения ограничений при различных коэффициентах вариации

Таким образом, в результате проведенных исследований предложена методика расчета структуры двухкомпонентной хлебопекарной смеси для производства обогащенных изделий, учитывающая нестабильность содержания нутриентов, и обеспечивающая выполнение технологических требований и, одновременно, учет предпочтений потребителей.

Методика включает постановку задачи расчета компонентов смеси в виде задачи стохастического программирования в М–постановке, т.е. оптимизируется математическое ожидание значения целевой функции при заданных значениях вариации коэффициентов и вероятности выполнения ограничений.

Определены классы ограничений: технологические и связанные с предпочтениями потребителей. В модель введены зависимости, обеспечивающие расчет дополнительных характеристик, таких как содержание кальция и пищевых волокон.

Сформулированы цели исследований, которые могут быть выполнены в рамках методики. Показаны результаты моделирования и анализа оптимальных решений на примере расчета структуры двухкомпонентной смеси пшеничной муки с обогащающим компонентом – мукой из экструдата амаранта, обоснован выбор компонентной смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта сорта Универсал при соотношении в масс. долях 83:17 и 77:23.

Методика может быть обобщена для расчета многокомпонентных смесей. Методика реализуется средствами современных информационных технологий и может использоваться в качестве инструментального средства в составе системы поддержки принятия решений при разработке новых технологий и рецептур производства обогащенных хлебобулочных изделий.

5.2 Изучение процесса созревания теста с внесением муки из экструдата амаранта

Для изучения процесса созревания теста с внесением экструдата из амаранта и окончательного выбора рациональной дозировки определяли газообразование, газодерживающую способность и кислотность теста.

В качестве контроля использовали рецептуру хлеба белого из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта. Рецептура хлеба белого из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта не предполагает внесение сахара, поэтому исследование газообразования в тесте - взаимодействия дрожжей с питательным субстратом - имеет важное технологическое значение.

Изменение газообразования в контрольной и опытных пробах (с 17 и 23% муки из экструдата амаранта) представлено на рисунке 38.

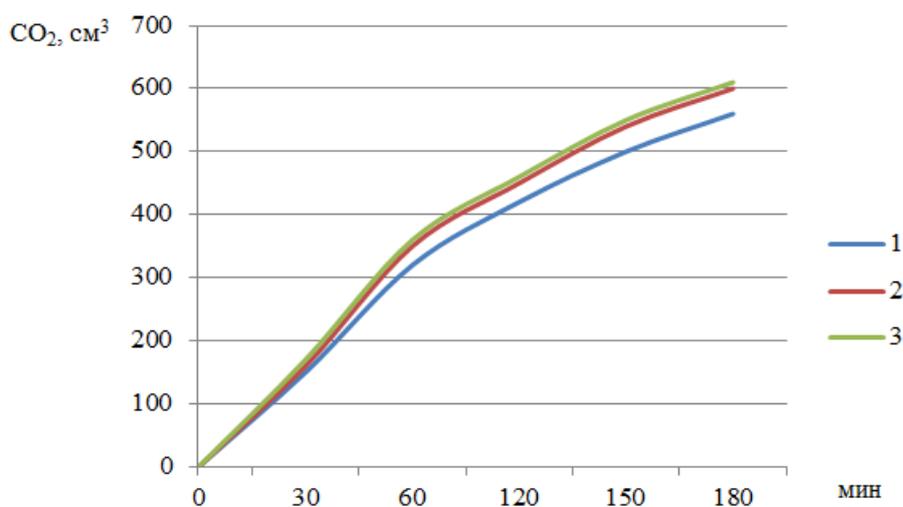


Рисунок 38 – Газообразование в пробах теста: 1 – контрольный образец, 2 – с 17% муки из экструдата амаранта, 3 – с 23% муки из экструдата амаранта

Как показали результаты исследования, в опытных пробах теста процесс газообразования протекает более интенсивно, что коррелирует с результатами исследования автолитической активности модельных смесей муки пшеничной хлебопекарной и муки из экструдата амаранта (рисунки 23 и 24) и связано с увеличением содержания усвояемых сахаров. Возможно, положительное

влияние на активность дрожжевых клеток оказывает кальций, магний и ряд аминокислот, дополнительно вносимых в тесто с мукой из экструдата амаранта.

Газоудерживающая способность зависит от количества и качества клейковины, а также от активности протеолитических ферментов, т.е. от белковопротеиназного комплекса муки. Графическая интерпретация изменения объема теста в зависимости от дозировки муки из экструдата амаранта представлена ниже.

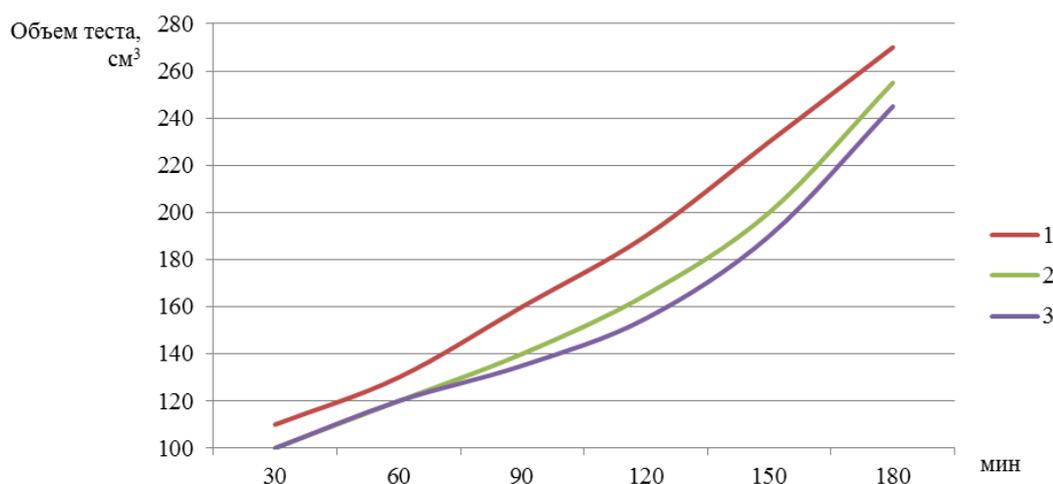


Рисунок 39 – Газоудерживающая способность проб теста: 1 – контрольный образец, 2 – с 17% муки из экструдата амаранта, 3 - с 23% муки из экструдата амаранта

Динамика газоудерживающей и газообразующей способности идентичны. Но в связи со снижением количества клейковины, удерживающей образующийся в процессе спиртового брожения диоксид углерода, газоудерживающая способность опытных проб теста ниже по сравнению с контролем. Что в дальнейшем подтвердилось результатами лабораторных выпечек. Опытные образцы хлеба имели меньший объем и более низкое значение пористости по сравнению с контролем.

При созревании теста важное значение имеет процесс кислотонакопления. Именно накоплением в тесте молочной, уксусной, пропионовой, масляной и других летучих органических кислот, обладающих выраженным запахом, а также продуктов взаимодействия кислот с другими веществами теста (спиртами) обусловлен в значительной мере вкус и аромат хлеба [122].

Результаты изучения кислотности контрольного и опытного образцов теста приведены на рисунке 40.

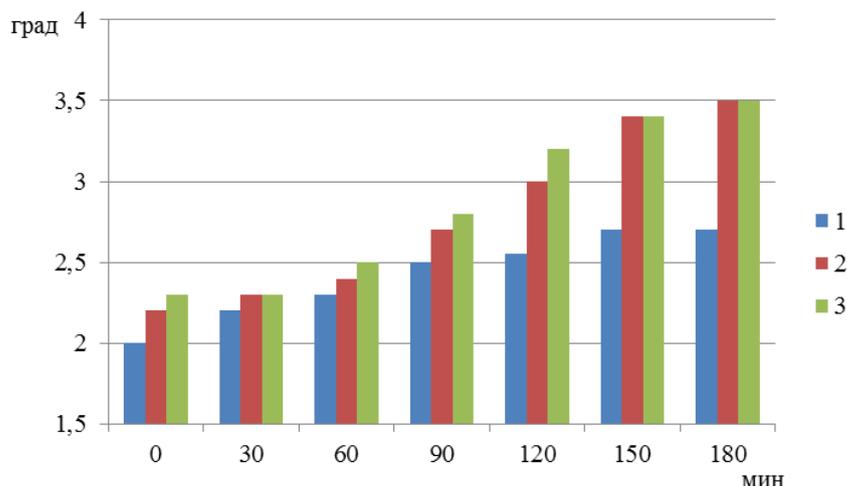


Рисунок 40 – Динамика кислотности проб теста в процессе брожения:

1 – контрольный образец, 2 – с 17% муки из экструдата амаранта, 3 - с 23% муки из экструдата амаранта

Изменение титруемой кислотности опытных образцов теста в процессе брожения свидетельствует о том, что внесение экструдированной амарантовой муки приводит к увеличению начальной кислотности теста и к интенсивности процесса кислотонакопления. Что, с одной стороны, коррелирует с активизацией процесса газообразования и усилением кислотности за счет растворения диоксида углерода в жидкой фазе теста, с другой с более интенсивным молочнокислым брожением в более благоприятной питательной среде. Повышение кислотности подтверждается усилением аромата хлеба (таблица 34). В период созревания теста накопление кислот в опытных пробах достигалось быстрее и к концу процесса брожения составило 3,5 град у опытных образцов и 3,0 град у контрольного.

Дополнительно нами было проведено исследование влияние муки из экструдата амаранта на свойства теста по показателю расплываемости шарика теста.

В ходе проведения эксперимента установили, что расплываемость шариков теста также зависит от рецептурного состава (рисунок 41).

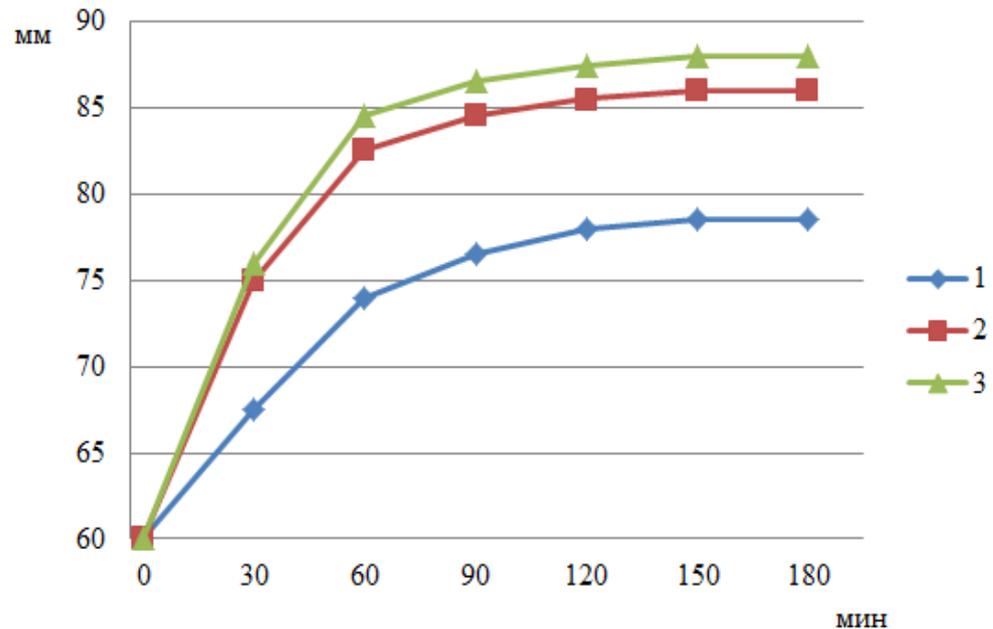


Рисунок 41 – Расплываемость теста по шарикам: 1 – контрольный образец, 2 – с 17% муки из экструдата амаранта, 3 - с 23% муки из экструдата амаранта

Несмотря на то, что внесение муки из экструдата амаранта увеличивает водопоглотительную способность смесей, расплываемость шариков повышается. Расплываемость контрольного образца составила 30% (диаметр шарика после трех часов отлежки увеличился с 60 до 78 мм), образца с 17% муки из экструдата амаранта – 43% (увеличение диаметра с 60 до 86 мм), третьего образца – 46% (увеличение диаметра с 60 до 88 мм). Согласно [13; 162] исследуемые смеси можно оценить как средней силы, но для сохранения традиционности изделия целесообразно вырабатывать формовую продукцию.

5.3 Изучение потребительских свойств, пищевой и биологической ценности хлеба с мукой из экструдата амаранта

Для установления влияния экструдированной муки из амаранта на органолептические и физико-химические свойства готовых продуктов проводили пробную выпечку.

Результаты оценки проб хлеба приведены в таблице 35.

Таблица 35 – Сравнительная характеристика органолептических и физико-химических показателей хлеба

Показатель	Образец		
	Контрольный	с 17% муки из экструдата амаранта	с 23% муки из экструдата амаранта
Внешний вид:			
форма	Соответствующая хлебной форме – прямоугольная, без боковых выплывов	Соответствующая хлебной форме – прямоугольная	
поверхность	Гладкая, без трещин и подрывов	Гладкая, без трещин и подрывов	
цвет	Светло-желтый	Кремовый	От кремового до светло-коричневого
Состояние мякиша:			
пропеченность	Пропеченный, не влажный на ощупь	Пропеченный, не влажный на ощупь	Пропеченный, ощущается легкая влажность
промес	Без комочков, следов непромеса	Без следов непромеса	
пористость	Развитая, без пустот и уплотнений	Развитая, равномерная	
Вкус	Свойственный пшеничному хлебу, без постороннего привкуса	Свойственный пшеничному хлебу, со слабым ореховым привкусом	Свойственный пшеничному хлебу, с легкой кислинкой и привкусом обжаренных орехов
Запах	Свойственный пшеничному хлебу, слабо выраженный, без посторонних запахов	Свойственный пшеничному хлебу, со слабым ореховым ароматом, приятный	Свойственный пшеничному хлебу, с ореховым ароматом, выраженный, приятный
Влажность мякиша, %	42,5±1,0	44,0±1,0	45,5±1,0
Кислотность мякиша, град	2,2±0,09	2,8±0,11	3,0±0,08
Пористость мякиша, %	80±2	73±2	71±2

Сравнительная характеристика хлебобулочных изделий в разрезе представлена на рисунке 42.

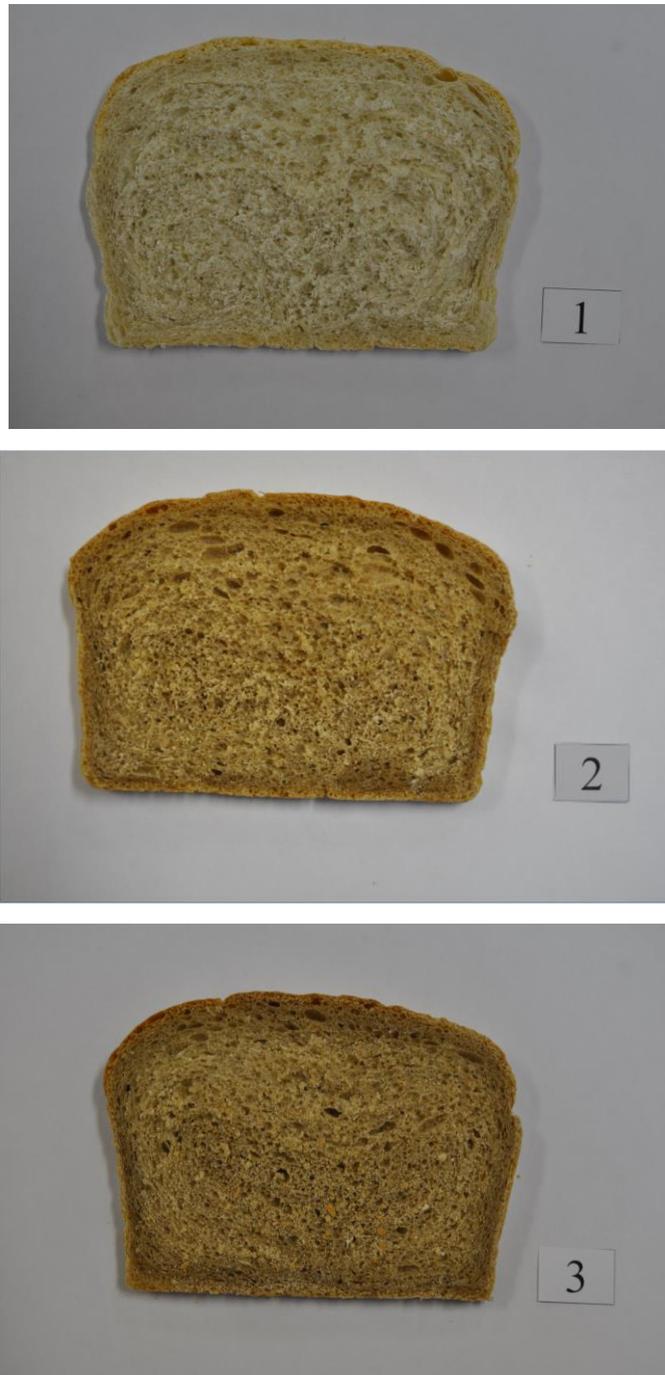


Рисунок 42 – Пробы хлеба в разрезе: 1 – контрольный образец; 2 - с 17% муки из экструдата амаранта; 3 - с 23% муки из экструдата амаранта

В целом проведенный блок исследований показал, что внесение 17 % муки из экструдата амаранта в рецептурный хлеба позволит получить изделие с более темным мякишем, со слегка измененным вкусом и запахом. Увеличение

дозировки амарантовой муки приводит к более существенным изменениям. При этом изделие может быть идентифицировано как хлеб, что с учетом улучшения нутриентного состава отвечает запросам потребителей. В дальнейшем для исследований был выбран опытный образец с внесением в рецептурный состав 17% муки из экструдата амаранта сорта Универсал. Учитывая, что за основу была принята рецептура хлеба белого, опытный образец в дальнейших исследованиях идентифицируется как хлеб белый амарантовый.

Химический состав хлеба белого амарантового приведен в таблице 36.

Таблица 36 – Химический состав хлеба белого амарантового

Нутриент, содержание в 100 г продукта	Характеристика	Нормы суточной физиологической потребности, г			Удовлетворение суточной физиологической потребности, %		
		Взрослые до 60 лет		Дети	Взрослые до 60 лет		Дети
		Мужчины	Женщины		Мужчины	Женщины	
Содержание белка, г	9,45±0,37	65–117	58–87	36–87	14,3-8,0	16,1-10,7	25,9-10,7
Содержание жира, г	1,28±0,04	70–154	60–102	40–97	1,8-0,8	2,1-1,2	3,2-1,3
Содержание углеводов, г	43,5±2,1	257–586		170–420	16,9-7,4		25,6-10,4
Пищевые волокна, г	0,49±0,01	20		10-20	2,45		4,9-2,45
Кальций, мг	65,7±2,6	1000		400–1200	6,6		16,4-5,5
Пищевая ценность, ккал	212,4±6,4	1800-3050	2100-4200	1200-2900	11,8-7,0	10,1-5,1	17,7-7,3

Одновременно можно отметить увеличение содержания пищевых волокон и кальция в сравнении с традиционным хлебом белым в 2,5 раза. Содержание белка в 100 г хлеба белого амарантового увеличилось на 1,85 г или на 24% по сравнению с хлебом традиционной рецептуры. Согласно ГОСТ Р 55577-2013 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности» хлеб белый амарантовый является источником белка и эта формулировка может быть отражена на упаковке продукта.

Внесение муки из экструдата амаранта предполагает не только количественное изменение белковых веществ хлеба, но и существенные качественные изменения. Для их определения рассчитывали коэффициент различий аминокислотного сора (КРАС) и биологическую ценность образцов хлеба – рассчитывали аминокислотный состав хлеба и сопоставляли с аминокислотным составом идеального белка (таблица 37). Для сравнения использовали хлеб белый традиционной рецептуры.

Таблица 37 – Аминокислотный скор и биологическая ценность хлеба

Наименование аминокислоты	Хлеб белый			Хлеб белый амарантовый		
	А, мг в 100 г хлеба	А, мг/г белка	Скор, %	А, мг в 100 г хлеба	А, мг/г белка	Скор, %
Валин	381,7	48,3	96,5	481,4	49,6	102,0
Изолейцин	396,9	50,2	125,4	449,0	48,9	118,9
Лейцин	655,6	82,9	118,4	720,0	79,7	109,0
Лизин	222,5	28,1	51,2	448,3	37,5	86,3
Метионин+ цистин	297,2	37,6	107,3	352,3	37,5	106,6
Треонин	248,7	31,4	78,6	352,0	34,3	93,2
Триптофан	89,7	11,3	113,4	120,4	12,0	127,5
Фенилаланин + тирозин	658,3	83,2	138,7	793,8	83,6	140,1
КРАС, %	52,5			24,1		
Биологическая ценность, %	47,5			75,9		

Анализ данных, представленных в таблице 37, позволяет сделать вывод, что белки хлеба белого амарантового обладают более высокой биологической ценностью, чем белки хлеба из пшеничной муки первого сорта. Так, внесение 17% муки из экструдата амаранта сорта Универсал в рецептуру хлеба белого повышает биологическую ценность на 28,4 % по сравнению с традиционной рецептурой. В первую очередь необходимо отметить увеличение содержания лимитирующей аминокислоты лизина вдвое.

По результатам проведенных исследований разработана нормативная документация – рецептура на хлеб белый амарантовый - РЦ 00492894-005-2020 и стандарт организации СТО 00492894-005-2020 Хлеб белый амарантовый; проведена апробация способов получения муки и хлеба в условиях Учебно-научно-производственного комплекса «Агропереработка» (приложения 7-11).

5.4 Влияние условий хранения на качество хлеба

Для установления влияния продолжительности хранения и упаковочного материала на качество хлеба проводили хранение контрольного (хлеба белого из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта) и опытного (хлеба белого амарантового с 17 % муки из экструдата амаранта в рецептурном составе) образцов в течение трех суток при температуре $(+20\pm 2)$ °С.

Рассматривали динамику хранения без упаковки, в полиэтиленовом открытом пакете, в термоусадочной пленке и в полипропиленовом пакете с клипсой.

Параметры качества оценивались через 12, 24, 36, 48, 60 и 72 часов после изготовления. Физико-химические показатели опытной и контрольной проб хлеба после выпечки представлены в таблице 38.

Таблица 38 – Исходные параметры качества проб хлеба

Образцы:	Влажность, %	Крошковатость, %	Пористость, %	Кислотность, град
Контрольный образец	44,0±1,5	0,32±0,01	80±2	2,3±0,07
Опытный образец	45,5±1,0	0,34±0,01	72±2	2,6±0,08

Изменение влажности образцов в процессе хранения (усушка) отражено на рисунках 43 и 44.

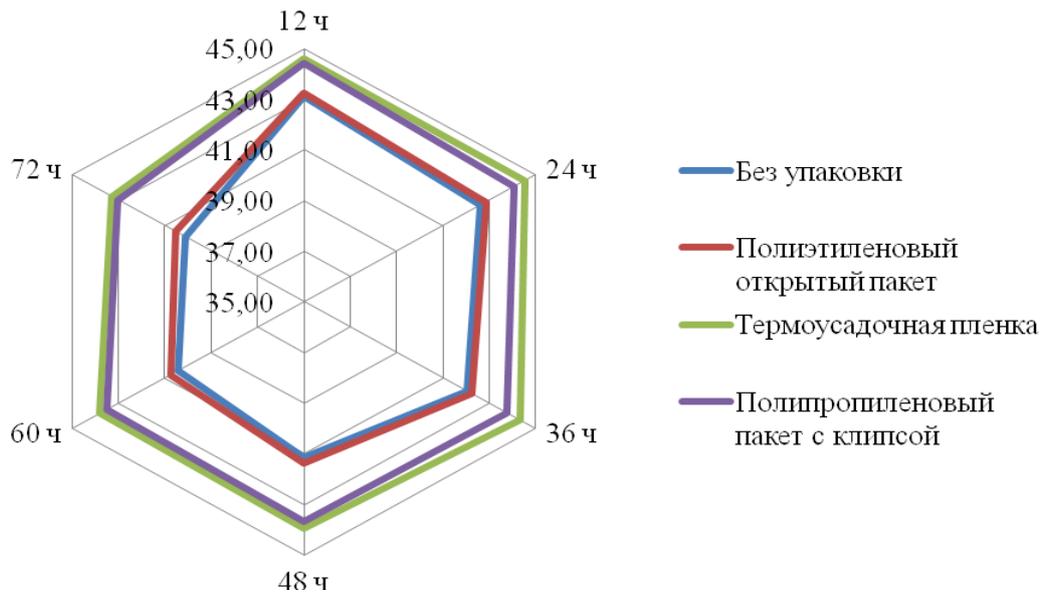


Рисунок 43 – Изменение влажности пробы контрольного хлеба при хранении, %

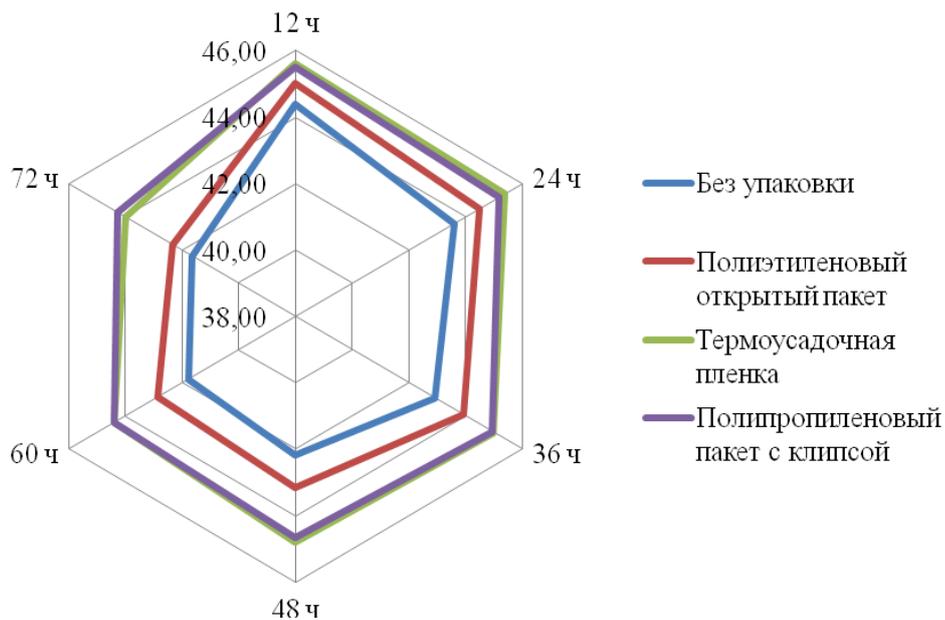


Рисунок 44 – Изменение влажности пробы опытного хлеба при хранении, %

Закономерно установлено, что максимальная потеря массы изделия происходит при хранении без упаковки. Массовая доля влаги неупакованного контрольного и опытного образцов снизилась на 4,00% после 72 ч с начала хранения и составляла $40,0 \pm 1\%$ и $41,5 \pm 1\%$ соответственно.

Влажность образцов, хранимых в открытых полиэтиленовых пакетах, снижалась чуть менее интенсивно, чем у неупакованных образцов, и к завершению опыта составляла 40,5% у контрольной пробы и 42,5% у опытной с добавлением муки из экструдата амаранта (снижение на 3,5% и 3,0% соответственно).

Герметичная упаковка дольше сохраняла влагу. Так при использовании полипропиленового пакета с клипсой снижение влажности у исследуемых проб составило 1,5%. При хранении хлеба в термоусадочной пленке разница массовой доли влаги за время опыта для контрольного образца составила 1,5%, для опытного - 1,0%.

В целом, исследование изменения влажности показало меньшую усушку хлеба белого амарантового независимо от вида упаковки, что, вероятно, связано с внесением с экструдатом амаранта пищевых волокон и продуктов неполного гидролиза крахмала, способных удерживать влагу.

Черствение образцов оценили по показателю крошковатости, динамика которого приведена на рисунке 45 для контрольной пробы и на рисунке 46 для опытной.

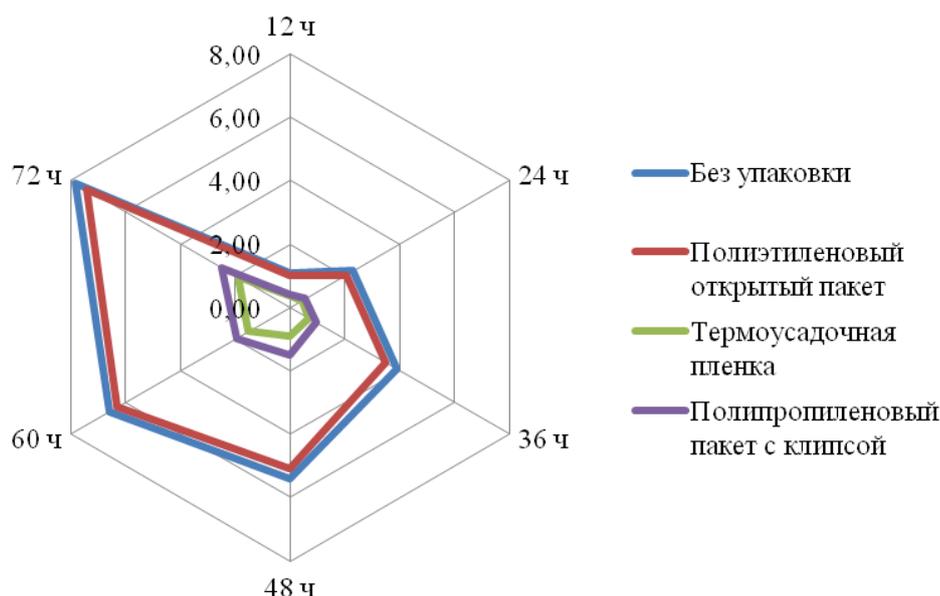


Рисунок 45 – Изменение крошковатости пробы контрольного хлеба при хранении, %

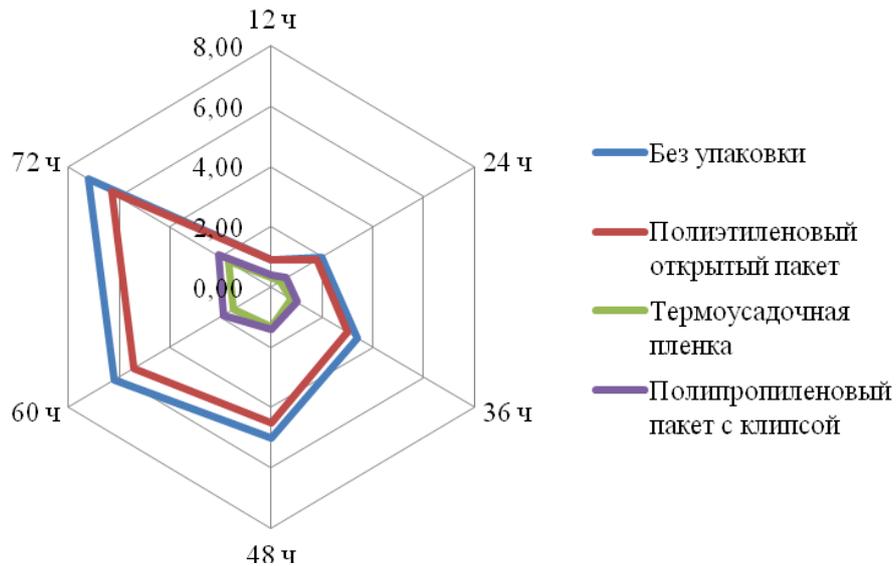


Рисунок 46 – Изменение крошковатости пробы опытного хлеба при хранении, %

Подтверждено повышение крошковатости в процессе хранения и ее зависимость от влажности хлеба. У проб с большей влажностью наблюдалась меньшая крошковатость и наоборот. По сравнению с контрольным, опытный образец имел меньшую крошковатость при всех вариантах упаковки. К концу эксперимента показатель хлеба белого амарантового был лучше показателя контрольного образца на 2,8% у неупакованных проб, на 2,9% - у образцов в полиэтиленовом открытом пакете, на 0,6% - у проб в термоусадочной пленке, на 1,1% - у проб в полипропиленовом пакете с клипсой.

Пористость проб хлеба ожидаемо снижалась во всех вариантах эксперимента (таблица 39).

Таблица 39 – Изменение пористости проб хлеба при хранении, %

Вид упаковки	Продолжительность хранения, ч					
	12	24	36	48	60	72
Хлеб белый (контроль)						
1	2	3	4	5	6	7
Без упаковки	79±1	79±1	78±1	76±1	76±1	75±1
Полиэтиленовый открытый пакет	79±1	79±1	78±1	77±1	77±1	76±1
Термоусадочная пленка	80±1	80±1	79±1	79±1	78±1	78±1

Продолжение таблицы 39

1	2	3	4	5	6	7
Полипропиленовый пакет с клипсой	80±1	80±1	79±1	79±1	78±1	77±1
Хлеб белый амарантовый (опытный образец)						
Без упаковки	71±1	70±1	70±1	69±1	67±1	66±1
Полиэтиленовый открытый пакет	71±1	70±1	70±1	69±1	68±1	67±1
Термоусадочная пленка	72±1	71±1	71±1	70±1	70±1	69±1
Полипропиленовый пакет с клипсой	72±1	71±1	71±1	70±1	70±1	69±1

Отмечено, что различные вариации упаковки влияют на пористость хлеба по-разному. В среднем в рамках эксперимента она снизилась на 3-5%. Минимальное снижение наблюдалось при использовании полипропиленового пакета с клипсой, максимальное – без использования упаковочного материала.

Далее установлено, что продолжительность хранения хоть и незначительно, но влияет на показатель кислотности хлеба. Динамика показателя отображена в таблице 40.

Таблица 40 – Изменение кислотности проб хлеба при хранении, град

Вид упаковки	Продолжительность хранения, ч					
	12	24	36	48	60	72
Хлеб белый (контроль)						
Без упаковки	2,3±0,1	2,3±0,07	2,4±0,1	2,4±0,09	2,4±0,1	2,5±0,1
Полиэтиленовый открытый пакет	2,3±0,1	2,3±0,08	2,4±0,0 7	2,4±0,1	2,5±0,0 7	2,5±0,07
Термоусадочная пленка	2,3±0,1	2,4±0,09	2,4±0,0 8	2,5±0,1	2,6±0,1	2,6±0,09
Полипропиленовый пакет с клипсой	2,3±0,1	2,3±0,1	2,4±0,0 8	2,4±0,09	2,6±0,1	2,6±0,1
Хлеб белый амарантовый (опытный образец)						
Без упаковки	2,6±0,1	2,6±0,08	2,7±0,1	2,7±0,07	2,8±0,1	2,8±0,1
Полиэтиленовый открытый пакет	2,6±0,1	2,6±0,07	2,7±0,0 7	2,7±0,07	2,8±0,1	2,8±0,07
Термоусадочная пленка	2,6±0,0 8	2,7±0,1	2,7±0,1	2,8±0,08	2,9±0,0 7	2,9±0,1
Полипропиленовый пакет с клипсой	2,6±0,0 8	2,6±0,08	2,7±0,1	2,8±0,07	2,9±0,1	2,9±0,07

Анализ данных изменения кислотности показал незначительное увеличение показателя (не выше 3 град в пробах после 72 часов хранения) во всех случаях. Отмечено, что использование полипропиленового пакета с клипсой способствует немного большему кислотонакоплению, чем использование других видов упаковки.

По результатам исследования показателей качества хлеба в процессе хранения можно сделать следующие выводы:

- исследуемые показатели качества меняются в процессе хранения хлеба. При этом не выходят за рамки стандартизированных требований, что подтверждает целесообразность установлении срока годности для хлеба белого амарантового - 72 часа;

- все рассматриваемые варианты упаковки оказывают влияние на исследуемые показатели качества (влажность, крошковатость, пористость и кислотность) хлеба при хранении. Для упаковывания хлеба белого амарантового целесообразно применять термоусадочную пленку или полипропиленовую упаковку с клипсой или другим герметичным упаковыванием.

6 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБА БЕЛОГО АМАРАНТОВОГО

Одним из определяющих факторов при разработке и внедрении рецептуры изделия является его экономическая эффективность. В соответствии с общепринятыми методиками [33] производили расчет стоимости хлеба белого амарантового массой 500 г.

Расчет затрат на сырье для производства 1 тонны хлеба белого амарантового представлен в таблице 41.

Таблица 41 – Расчет затрат на сырье для производства 1 тонны хлеба белого амарантового

Сырье и полуфабрикаты	Общий расход сырья на 1 т неупакованной продукции, кг	Цена 1 кг, руб.	Всего затрат, руб.
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта	574,36	20,0	11487,20
Мука из экструдата амаранта	117,64	150,00	17646,00
Соль поваренная пищевая	9,00	15,00	135,00
Дрожжи хлебопекарные прессованные	10,38	100,00	1038,00
Итого	711,38		30306,20

Далее приведена вариативная калькуляция стоимости 1 изделия массой 500 г в зависимости от уровня коммерческих расходов (таблица 42) и от уровня затрат на сырье (таблица 43).

Таблица 42 – Калькуляция стоимости хлеба белого амарантового с учетом 8, 10 и 12% коммерческих расходов от производственной себестоимости

№	Коммерческие расходы, %	12,0	10,0	8,0
п/п	Статьи и калькуляции	Затраты на 1 т, руб.		
1	Сырье и основные материалы	30306,20	30306,20	30306,20
2	Вспомогательные материалы	3720,00	3720,00	3720,00
3	Энергия на технологические затраты	1797,00	1797,00	1797,00
4	Заработная плата	3819,00	3819,00	3819,00
5	Отчисления на социальные нужды	1176,00	1176,00	1176,00
6	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	1321,00	1321,00	1321,00
7	Цеховые расходы	3455,00	3455,00	3455,00
8	Общепроизводственные расходы	4699,00	4699,00	4699,00
9	Прочие производственные расходы	217,00	217,00	217,00
10	Производственная себестоимость	50510,20	50510,20	50510,20
11	Коммерческие расходы	6061,22	5051,02	4040,82
12	Полная себестоимость	56571,42	55561,22	54551,02
13	Норма рентабельности, %	15	15	15
14	Прибыль	8485,71	8334,18	8182,65
15	Оптовая цена продукции	65057,14	63895,40	62733,67
16	НДС (10,0 %), руб.	6505,71	6389,54	6273,37
17	Отпускная цена с учетом НДС	71562,85	70284,94	69007,04
18	Торговая наценка (15,0 %), руб.	10734,43	10542,74	10351,06
19	Розничная цена продукции	82297,28	80827,68	79358,09
20	Розничная цена 1 кг	82,30	80,83	79,36
21	Розничная цена хлеба массой 500 г	41,15	40,41	39,68

Таблица 42 – Калькуляция стоимости хлеба белого амарантового с учетом 8, 10 и 12% коммерческих расходов от производственной себестоимости

№ п/п	Коммерческие расходы, %	12,0	10,0	8,0
	Статьи и калькуляции	Затраты на 1 т, руб.		
1	Сырье и основные материалы	30306,20	30306,20	30306,20
2	Вспомогательные материалы	3720,00	3720,00	3720,00
3	Энергия на технологические затраты	1797,00	1797,00	1797,00
4	Заработная плата	3819,00	3819,00	3819,00
5	Отчисления на социальные нужды	1176,00	1176,00	1176,00
6	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	1321,00	1321,00	1321,00
7	Цеховые расходы	3455,00	3455,00	3455,00
8	Общепроизводственные расходы	4699,00	4699,00	4699,00
9	Прочие производственные расходы	217,00	217,00	217,00
10	Производственная себестоимость	50510,20	50510,20	50510,20
11	Коммерческие расходы	6061,22	5051,02	4040,82
12	Полная себестоимость	56571,42	55561,22	54551,02
13	Норма рентабельности, %	15	15	15
14	Прибыль	8485,71	8334,18	8182,65
15	Оптовая цена продукции	65057,14	63895,40	62733,67
16	НДС (10,0 %), руб.	6505,71	6389,54	6273,37
17	Отпускная цена с учетом НДС	71562,85	70284,94	69007,04
18	Торговая наценка (15,0 %), руб.	10734,43	10542,74	10351,06
19	Розничная цена продукции	82297,28	80827,68	79358,09
20	Розничная цена 1 кг	82,30	80,83	79,36
21	Розничная цена хлеба массой 500 г	41,15	40,41	39,68

Таблица 43 – Калькуляция стоимости хлеба белого амарантового с учетом затрат на сырье 55,0, 60,0 и 65,0%

№ п/п	Затраты на сырье, %	55,0	60,0	65,0
	Статьи и калькуляции	Затраты на 1 т, руб.		
1	Сырье и основные материалы	30306,20	30306,20	30306,20
10	Производственная себестоимость	55102,18	50510,33	46624,92
11	Коммерческие расходы	4408,17	4040,83	3729,99
12	Полная себестоимость	59510,36	54551,16	50354,92
13	Норма рентабельности, %	15,0	15,0	15,0
14	Прибыль	8926,55	8182,67	7553,24
15	Оптовая цена продукции	68436,91	62733,83	57908,15
16	НДС (10,0 %), руб.	6843,69	6273,38	5790,82
17	Отпускная цена с учетом НДС	75280,60	69007,22	63698,97
18	Торговая наценка (15,0%), руб.	11292,09	10351,08	9554,85
19	Розничная цена продукции	86572,69	79358,30	73253,82
20	Розничная цена 1 кг	86,57	79,36	73,25
21	Розничная цена хлеба массой 500 г	43,29	39,68	36,63

Расчет стоимости хлеба массой 500 г с нормами рентабельности 15,0, 12,5 и 10,0% при уровне коммерческих расходов 8,0% представлен в таблице 44.

Таблица 44 – Расчет стоимости хлеба белого амарантового с нормами рентабельности 15,0, 12,5 и 10,0%

№ п/п	Статьи и калькуляции	Нормы рентабельности, %		
		15,0	12,0	10,0
1	Полная себестоимость	54551,16	54551,16	54551,16
2	Прибыль	8182,67	6818,90	5455,12
3	Оптовая цена продукции	62733,83	61370,06	60006,28
4	НДС (10%), руб.	6273,38	6137,01	6000,63
5	Отпускная цена с учетом НДС	69007,22	67507,06	66006,90
6	Торговая наценка (15%), руб.	10351,08	8438,38	6600,69
7	Розничная цена продукции	79358,30	75945,44	72607,59
8	Розничная цена 1 кг	79,36	75,95	72,61
9	Розничная цена хлеба массой 500 г	39,68	37,97	36,30

Таблица 45 – Расчет стоимости хлеба амарантового с уровнем наценки 15, 20 и 25%

№ п/п	Статьи и калькуляции	Уровень наценки, %		
		15	20	25
1	Отпускная цена с учетом НДС	69007,22	69007,22	69007,22
2	Торговая наценка (15%)	10351,08	13801,44	17251,81
3	Розничная цена продукции	79358,30	82808,66	86259,03
4	Розничная цена 1 кг готовой продукции	79,36	82,81	86,26
5	Розничная цена хлеба массой 500 г	39,68	41,40	43,13

Экономический анализ показывает, что розничная цена хлеба белого амарантового массой 500 г с уровнем наценки в 15% составит 39,70 руб.; в сравнении со средней стоимостью 500 г хлеба белого традиционной рецептуры - 33 руб. – ожидается увеличение стоимости ориентировочно на 20,3%.

На основании результатов определения отношения потребителей к увеличению стоимости обогащенного изделия по сравнению с традиционным (32% респондентов готовы на повышение стоимости на 10%, 37% - на 20 или 30%, 8% опрошенных высказались, что цена не имеет значения при повышении пищевой ценности) можем ожидать положительный отклик при реализации хлеба белого амарантового при учете активного ознакомления потребителей с его преимуществами, в том числе с помощью нанесения специальной информации на упаковку продукта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования можем сделать следующие выводы:

1. На основании анкетирования потребителей установлена актуальность обогащения хлебобулочных изделий. Подтверждены массовость и постоянство потребления хлеба среди жителей г. Воронеж. Установлена целесообразность обогащения хлеба лимитирующими нутриентами с учетом частичного изменения органолептических характеристик и повышения стоимости на уровне 10-30%.

2. Установлены существенные различия состава амаранта в зависимости от сортовой принадлежности. Скрининг сортов амаранта позволил выделить амарант Воронежской селекции Универсал, который в большей степени способен удовлетворить решению задачи полифункционального обогащения хлебобулочных изделий вследствие высокого содержания белка, клетчатки и минеральных веществ.

3. Изучено изменение структуры амаранта в процессе экструзии методом ИК-спектроскопии. Спектральные характеристики цельносмолотого и экструдированного зерна свидетельствуют о частичном разрушении белковых компонентов и относительной неизменности структуры пищевых волокон.

4. Исследовано влияние внесения амаранта в рацион лабораторных животных - крыс линии Wistar. Отмечено общее улучшение состояния крови животных. Гистологические исследования почек, желудка и печени подтверждают нормализацию обменных процессов у животных при добавлении амаранта и экструдата амаранта в корм.

5. Изучены функционально-технологические свойства муки из экструдата амаранта в зависимости от крупности помола: жиросвязывающая, жирозэмульгирующая, водосвязывающая способность и растворимость. Установлено, что лучшими функционально-технологическими свойствами

применительно к технологии хлеба из сортовой пшеничной муки обладает мука с крупностью помола 0,125 мм и менее.

6. Доказано, что экструдат амаранта обладает способностью сорбировать соли тяжелых металлов. По экспериментальным зависимостям с использованием Cu^{2+} составлены уравнения удельной сорбции - уравнение Фрейндлиха (для малого диапазона концентраций) и уравнение Ленгмюра (для широкого диапазона концентраций). Определены значения предельной сорбции, константа сорбционно-десорбционного равновесия.

7. Установлено, что мука из экструдата амаранта оказывает существенное влияние на хлебопекарные свойства мучных смесей с сортовой пшеничной мукой: повышается автолитическая активность, кислотность, снижаются цветовые характеристики смесей, количество и качество клейковины. Граничными значениями внесения муки из экструдата, позволяющими обеспечить традиционное качество хлеба, является дозировка 15% от массы муки для смесей с мукой пшеничной хлебопекарной высшего сорта и 20% с мукой пшеничной хлебопекарной первого сорта.

8. Исследованы реологические свойства модельных мучных смесей из муки пшеничной хлебопекарной и муки из экструдата амаранта на волариграфе, фаринографе, экстенсографе и альвеографе. Установлено закономерное снижение хлебопекарных свойств при внесении муки из экструдата амаранта, как в части белково-протеиназного, так и углеводно-амилазного комплекса. Внесение муки из экструдата амаранта до 20% позволяет спрогнозировать близкие к традиционным характеристики изделия.

9. Определение рациональной дозировки муки из экструдата амаранта выполнено в виде задачи стохастического программирования в М-постановке. С учетом мнения респондентов относительно изменения сенсорных характеристик обогащенного изделия, а также уровня обогащения белком, пищевыми волокнами и кальцием, обоснованы рациональные дозировки муки из экструдата амаранта: 17 % от массы мучной смеси при практически

традиционных органолептических характеристиках готовых изделий, 23% - при более существенных изменениях.

10. Установлено, что с увеличением дозировки муки из экструдата амаранта возрастает газообразование смесей, расплываемость шарика теста, его кислотность, снижается газодерживающая способность. Внесение 23% муки из экструдата амаранта приводит к существенным изменениям сенсорных характеристик хлеба.

11. Исследованы показатели качества и состав хлеба белого амарантового. Установлено, что при внесении 17% муки из экструдата амаранта увеличивается содержание кальция и пищевых волокон в 2,5 раза по сравнению с традиционной рецептурой. Количество белка повышается на 24%, биологическая ценность на 28,4%, что позволяет в соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 идентифицировать хлеб белый амарантовый как источник белка.

12. Разработана рецептура хлеба с мукой из экструдата амаранта. Способы получения муки из экструдата амаранта и хлеба белого амарантового апробированы на базе учебно-научно-производственного комплекса «Агропереработка» и рекомендованы к внедрению в производство. Утверждена нормативная и техническая документация на муку из экструдата амаранта и хлеб белый амарантовый.

13. Экономические расчеты свидетельствуют о повышении стоимости хлеба белого амарантового по сравнению с традиционным изделием на 20%, что допустимо для 45% опрошенных потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов И.А. Амарант: химический состав, биохимические свойства и способы переработки / И.А. Абрамов, Н.Е. Елисеева, В.В. Колпакова, Т.И. Пискун // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. – №6. – С. 44-48.
2. Абрамов О.В. Разработка способа производства хрустящих хлебных палочек с применением одношнекового экструдера: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Абрамов Олег Васильевич. – Воронеж, 1999. – 18 с.
3. Абрамова Т.В. Сравнительное патоморфологическое исследование внутренних органов крыс при доклиническом изучении воспроизведенного винкристина-ронц и винкристина фирмы Teva / Т.В. Абрамова, И.Б. Меркулова, Н.Ю. Кульбачевская, О.И. Коняева и др. // Российский биотерапевтический журнал. – 2018. - №1. Т 17. – С. 76-82.
4. Аксенова О.И. Основные тенденции развития экструзионной техники и технологии / О.И. Аксенова, Г.В. Алексеев, К.С. Маслова // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 22-24 мая 2019 г. – 2019. – С. 589-592.
5. Алексеева Е.И. Амарант (*Amaranthus*) – перспективная культура для получения пищевых добавок / Е.И. Алексеева, Д.М. Пихало, Т.С. Пучкова // Овощеводство. Сб. науч. тр. – Минск, 2012. – Т. 20. – С. 20–24.
6. Алексеева Е.И. Научные основы использования муки амарантовой экструдированной в пищевых продуктах / Е.И. Алексеева, Д.М. Пихало, Т.С. Пучкова // Овощеводство - 2013. - №1. - С. 20-24.
7. Алексеева Е.И. Перспективы использования белосемянных сортов амаранта (*Amaranthus*) в пищевой промышленности / Е.И. Алексеева, С.О. Смирнов // Овощеводство. Сб. науч. тр. – Минск, 2012. – Т. 20. – С. 14–19.
8. Алексеева Е.И. Мука амарантовая экструдированная – биологически активная добавка к пище // Биотехнология как инструмент сохранения

биоразнообразия растительного мира: материалы VII Международной научно-практической конференции, Симферополь, 25 сентября-01 октября 2016 г. – 2016. – С. 204-205.

9. Алексеева Е.И. Физико-химическая характеристика сортов амаранта и их генетическая дифференциация / Е.И. Алексеева, А.Б. Власова, А.Н. Юхимук // Труды БГУ. – 2010. – Т.5. Ч.2. – С. 127-133.

10. Алехина Н.Н. Влияние амарантовой муки на качество зернового хлеба / Н.Н. Алехина, И.М. Жаркова, Н.А. Головина, А.С. Желтикова // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I. 07-09 ноября 2018, Воронеж: ВГАУ, 2018. – С. 13-15.

11. Алехина Н.Н. Влияние амарантовой муки на качество хлеба из биоактивированного зерна пшеницы / Н.Н. Алехина, И.М. Жаркова, Н.А. Головина, А.А. Самохвалов // Хлебопродукты. – 2019. - №4. – С. 56-57.

12. Амарант в комбикормах: успешные опыты и благоприятные перспективы [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://amaranth-health.com/amarant-v-kombikormah-uspeshnyie-opyityi/> (Дата обращения 11.04.2020)

13. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства: Учебник / Под общ. ред. Л.И. Пучковой. – СПб: Профессия, 2009. – 415 с.

14. Бавыкина И.А. Состояние минеральной плотности костной ткани у детей с непереносимостью глютена при использовании продуктов из амаранта / И.А. Бавыкина, А.А. Звягин, Л.А. Мирошниченко, К.Ю. Гусев и др. // Вопросы практической педиатрии. – 2016. – Т. 11. – № 1. – С. 32-38.

15. Бавыкина И.А. Эффективность продуктов из амаранта в безглютеновом питании детей с непереносимостью глютена / И.А. Бавыкина, А.А. Звягин, Л.А. Мирошниченко, К.Ю. Гусев и др. // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86. – № 2. – С. 91-99.

16. Базарнова Н.Г. Методы исследования древесины и ее производных / Н.Г. Базарнова, Е.В. Карпова, И.Б. Катраков и др.; Под ред. Н.Г. Базарновой. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та. – 2002. – 160 с.
17. Батурина Н.А. Современные тенденции развития рынка хлебобулочных изделий / Н.А. Батурина, Ю.И. Лукоморская // Научные записки ОрелГИЕТ. – 2012. - №1(5). – С. 455-460.
18. Бахмет М.П. Оценка углеводно-амилазного комплекса пшеничной хлебопекарной муки российских производителей / М.П. Бахмет, Н.В. Мацакова, С.Б. Меретукова и др. // Известия вузов. Пищевая технология. – 2015. – №2-3 (344-345). – С. 12-14.
19. Бегеулов М.Ш. Применение амарантовой муки в хлебопечении // Хлебопродукты. – 2019. - №8. – С. 41-45.
20. Белецкая Н.М. Направления совершенствования ассортимента обогащенных хлебобулочных изделий / Н.М. Белецкая, Л.П. Удалова, Л.П. Пашенцева // Успехи современной науки. – 2017. - №4 Т.5. – С. 47-51.
21. Бобренева И.В. Функциональные продукты питания [Текст]: учебное пособие / И.В. Бобренева – СПб.: ИЦ Интермедия, 2012. – 180 с.
22. Бутова С.В. Амарантовая мука в производстве майонезных соусов / С.В. Бутова, М.Н. Шахова, М.Н. Кондаурова // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: материалы IV международной науч.-практ. конференции. Воронеж: ВГАУ, - 2016. - С. 211-213.
23. Буянкин В.И. Амарант в междуречье Волги и Урала / В.И. Буянкин, М.В. Назарова // Научно-агрономический журнал. – 2020. - №1-1(108). – С. 53-57.
24. Вершинина В.С. К вопросу обогащения макаронных изделий / В.С. Вершинина, Н.А. Юрк // Новая наука: теоретический и практический взгляд. – 2017. – №2-2. – С. 65-66.
25. Воропаева А.А. Применение продуктов глубокой переработки амаранта в технологии хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки / А.А.

Воропаева, И.Н. Миколайчик // Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи: сборник статей по материалам XI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 75-летию Курганской ГСХА имени Т.С. Мальцева (21 ноября 2019 года) / под общ. ред. проф. Миколайчика И.Н. – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2019. – С. 105-109.

26. Высочина Г.И. Амарант (*amaranthus 1*): химический состав и перспективы использования (обзор) // Химия растительного сырья. – 2013. – №2. – С. 5–14.

27. Габдукаева Л.З. Характеристика современного рынка хлебобулочных изделий для функционального питания / Л.З. Габдукаева, Е.С. Сорокина // Вестник Технологического Университета. – 2017. - №1. Т.20. – С. 151-154.

28. Гарш З.Э. Совершенствование технологии ржаных солодовых экстрактов с применением экструзии: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Гарш Зинаида Эргардовна. – М., 2010. – 153 с.

29. Гинс В.К. Применение амаранта в технологии хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки / В.К. Гинс, М.С. Гинс, Н.М. Дерканосова и др. // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. - 2017. - №S12. – С. 277-279.

30. Гинс М.С. Обогащение чая черного байхового антиоксидантными веществами листьев амаранта / М.С. Гинс, О.А. Лапо // Овощи России. – 2014. – №2 (29). – С. 37-39.

31. Глотова И.А. Дегидратация мяса виноградной улитки «*helix pomatia*» при исследовании методами ИК-спектроскопии и термического анализа. / И.А. Глотова, О.С. Кусакина, О.В. Перегончая, Л.А. Синяева // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 460-465.

32. Гопций Т.И. Влияние внешних факторов на содержание сквалена и состав жирных кислот масла амаранта / Т.И. Гопций, С.В. Кадыров, З.С. Кадыров, Л.А. Мирошниченко // 100-летие кафедры растениеводства, кормопроизводства и агротехнологий: итоги и перспективы инновационного

развития. Юбилейный сборник научных трудов: материалы международной научно-практической конференции / колл. авторов; под общей ред. проф. В.А. Федотова. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 79-83.

33. Гордеев А.В. Экономика предприятий пищевой промышленности [Текст] / А.В. Гордеев, О.А. Масленникова, С.В. Донскова. – Москва: Агроконсалт, 2003. – 616 с.

34. Грибова О.М. Технология рыбных рубленых изделий с мукой амаранта из малорентабельных объектов промысла Северного бассейна / О.М. Грибова, И.Э. Бражная, В.В. Корчунов // Рыбное хозяйство. – 2015. - №1. – С. 116-118.

35. Гринченко В.С. Белковые продукты и их роль в питании спортсменов в период интенсивной подготовки / В.С. Гринченко, Г.И. Касьянов, Е.А. Мазуренко, Е.А. Ольховатов // Современная наука и инновации. – 2018. – С. 118-123.

36. Дмитриева О.Ф. Агротехника возделывания амаранта багряного в условиях Чувашии: автореф. дис. ... канд. сел.-хоз. наук. Москва, 1993. 33 с.

37. Дмитриева О.Ф. Рост и развитие *Amaranthus Cruentus* L. В почвенно-климатических условиях Чувашской республики // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 11-1. – С. 30-36.

38. Долматова И.А. Исследование показателей качества обогащенных макаронных изделий / И.А. Долматова, Т.Н. Зайцева, Г.Д. Иванова [и др.] // Молодой ученый. – 2015. – Т. 86, № 6. – С. 148– 152.

39. Доржиева А.А. Разработка технологии экструдированного продукта функционального назначения на основе ржи: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / Доржиева Аюна Анатольевна. – Улан-Удэ, 2002. – 123 с.

40. Дорогонько Е.В. Обработка социологических данных с помощью пакета SPSS: учебно-методическое пособие / Е.В. Дорогонько. – Сургут: Изд. центр СурГУ, 2010. – 110 с.

41. Дулов М.И. Влияние муки амарантовой на органолептические и физико-химические показатели качества хлеба из муки пшеничной первого

сорта / М.И. Дулов, А.В. Казарина, Ю.Ю. Никонорова // сборник статей XI Международной научно-практической конференции «European scientific conference» Пенза: Наука и Просвещение, 7 сентября 2018 г. – 2018. – С. 66-74.

42. Егоров А.С. Инфракрасная фурье-спектроскопия. Эл. учеб.-метод. пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 40 с.

43. Егорова Е.Ю. Безглютеновые кексы с амарантовой мукой / Е.Ю. Егорова, Л.А. Козубаева // Ползуновский Вестник. - 2018. - № 1. - С. 22–26.

44. Егорова Е.Ю. Хлеб с пищевыми волокнами амарантовой и льняной муки / Е.Ю. Егорова, С.И. Конева, Д.С. Спицина // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к юбилею заслуженного деятеля науки РФ В.М. Позняковского, Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2017. – С. 73-77.

45. Ершова Н.Д. Влияние амарантовой муки на показатели качества пшеничного хлеба / Н.Д. Ершова, Т.Л. Шевелева // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: сборник материалов LIII Международной студенческой научно-практической конференции / ГАУ Северного Зауралья. Часть 2 Тюмень: ГАУСЗ, 2019. – С. 138-143.

46. Жаркова И.М. Амарантовая мука – эффективное средство для производства здоровых продуктов питания / И.М. Жаркова, Л.А. Мирошниченко // Хлебопродукты. – 2012. - №12. – С. 54-56.

47. 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. – № 1. – С. 67-73.

48. Жаркова И.М. Влияние дозировки амарантовой муки на биологическую ценность смеси пшеничной и амарантовой муки / И.М. Жаркова, Л.А. Мирошниченко // Материалы II Междунар. науч.-практич. конф. «Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI в.». – Краснодар: КГТУ, 2011. – С. 175–178.

49. Жаркова И.М. О некоторых разработках мучных изделий для безглютенового и геродиетического питания / И.М. Жаркова, А.А. Самохвалов, В.Г. Густинович, Н.Н. Алехина и др. // Биотехнологические аспекты управления технологиями пищевых продуктов в условиях международной конкуренции: Сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган, 19 марта 2019 г., Издательство: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева (Лесниково). – 2019. – С. 278-281.

50. Жаркова И.М. Амарант: научно-практические аспекты применения в пищевой промышленности: монография / И.М. Жаркова. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – 198 с.

51. Жаркова И.М. Исследование биологической ценности безглютенового хлеба из амарантовой муки и кукурузного крахмала / И.М. Жаркова, Ю.Н. Труфанова // Гастроэнтрология Санкт-Петербурга. – 2016. - №1-2. – С. М11-М11.

52. Жиркова Е.В. Применение отечественных сырьевых ингредиентов в хлебопекарном производстве / Е.В. Жиркова, В.В. Мартиросян, В.Д. Малкина, Т.А. Севрюкова // Хлебопродукты. – 2016. – № 2. – С. 36-39.

53. Жиркова Е.В. Влияние экстрактов зерна пшеницы на микробиологическое состояние хлеба / Е.В. Жиркова, В.В. Мартиросян, В.Д. Малкина // Хлебопекарное производство - 2014: материалы докладов Международной конференции. – Москва: Международная промышленная академия, 2014. – С. 92-93.

54. Журавель Н.В. Зерновой амарант - перспективная культура / Н.В. Журавель, В.В. Чумакова, В.В. Мартиросян // Достижения науки и техники АПК. – 2012. - №10. – С. 71-72.

55. Зайцева И.И. Разработка технологии прослоенного печенья с ингредиентами из отечественного растительного сырья / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / 05.18.01. – Воронеж, 2018. – 190 с.

56. 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. – № 2. – С. 46-51.

57. Зуева Е.А. О перспективах использования цельносмолотой амарантовой муки при производстве пшеничного хлеба / Е.А. Зуева, Н.И. Слугинова, Е.А. Сарафанкина // XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2017. - №1(35). – С. 37-40.

58. Иванова Т.С. Разработка технологии экструдирования зерна ячменя и овса для получения муки и мучных кондитерских, хлебобулочных изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Иванова Татьяна Сергеевна. – Красноярск, 2013. – 16 с.

59. Имаева А.А. Возможности использования нетрадиционных видов муки в производстве мучных кондитерских изделий // Российский электронный научный журнал. – 2020. - № 1(35). – С. 83-93.

60. Информационная база «Техэксперт» Режим доступа: <https://cntd.ru/> доступ свободный.

61. Исакова Г.К. Обоснование применения обогащающих добавок из растительного сырья в производстве макаронных изделий / Г.К. Исакова, Б.А. Изтаева, Г.О. Магомедов, Г.А. Умирзакова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. - № 3(81). – С. 111-117.

62. Кадыров З.С. Влияние разных технологий обработки почвы на густоту и высоту растений зернового амаранта / З.С. Кадыров, С.В. Кадыров // 100-летие кафедры растениеводства, кормопроизводства и агротехнологий: итоги и перспективы инновационного развития. Юбилейный сборник научных трудов: материалы международной научно-практической конференции / колл. авторов; под общей ред. проф. В.А. Федотова. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 61-67.

63. Казицына Л.А. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и масс-спектропии в органической химии / Л.А. Казицына, Н.Б. Куплетская – М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1979. – 240 с.

64. Калинин Р.Г. Как разрабатывать и выводить на рынок новинки для достижения ожидаемых объемов продаж / Р.Г. Калинин // Хлебопродукты. – 2015. – № 4. – С. 42-43.

65. Кашеваров Н.И. Способы посева и нормы высева амаранта / Н.И. Кашеваров, С.К. Хамцов, Н.Н. Кашеварова // Кормопроизводство. – 1993. – № 2. – С. 20–21.

66. Кияшко Н.В. Использование муки из амаранта в производстве пшеничного хлеба // Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока: Материалы III Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции, 26-27 ноября 2019 г.: в 3-х ч.: Ч. II – Технические, биологические науки / ФГБОУ Приморская ГСХА; отв. Ред. С.В. Иншаков. – Уссурийск, 2019. – С. 58-63.

67. Клешнева Е.В. Амарант - перспективный сырьевой источник пектиновых веществ / Е.В. Клешнева, Л.В. Донченко, Т.В. Щеколдина – КубГТУ. – 2016. – С. 3.

68. Клешнёва Е.В. Пищевые продукты с добавлением амаранта – белоксодержащие продукты нового поколения [Текст] / Е.В. Клешнёва, Л.В. Донченко, Т.В. Щеколдина // Сборник статей «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И.С. Косенко. Отв. за вып. А.Г. Кощаев, Краснодар: изд-во Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017.– С. 1262–1263.

69. Ковалева Л.И. К вопросу об обогащении продуктов хлебопечения белками / Л.И. Ковалева, Ю.Е. Евгеньева // Вестник индустрии гостеприимства. – 2016. – С. 92–99.

70. Коденцова В.М. Витаминная обеспеченность взрослого населения Российской Федерации (1987–2017 гг.) / В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская,

Д.Б. Никитюк, В.А. Тутельян // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87. – № 4. – С. 62–68.

71. Коденцова В.М. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности её коррекции. Состояние, проблемы / В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская, Д.В. Рисник и др. // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86. – № 4. – С. 113–124.

72. Колпакова В.В. Компоненты амарантовой муки как составные части молочнокислого напитка геронтологического назначения / В.В. Колпакова, Л.В. Чумикина // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – 2018. - №13. - С. 625-629.

73. Колпакова В.В. Растворимость и водосвязывающая способность белков муки из пшеничных отрубей / В.В. Колпакова, А.П. Нечаев // Известия вузов. Пищевая технология. – 1995. – №1-2. - С. 31-33.

74. Колпакова В.В. Эмульгирующие и пенообразующие свойства белковой муки из пшеничных отрубей / В.В. Колпакова, А.Е. Волкова, А.П. Нечаев // Известия вузов. Пищевая технология. – 1995. - №1-2. – С. 34-37.

75. Кононков П.Ф. Амарант – ценная овощная и кормовая культура многопланового использования / П.Ф. Кононков, В.А. Сергеева // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 4 (84). – С. 63–64.

76. Кононков П.Ф. Интродукция амаранта в России / П.Ф. Кононков, М.С. Гинс // Научно-практический журнал «Овощи России». - 2008. - №1-2. - С. 79-82.

77. Кононков П.Ф. Листья амаранта - ценное сырьё для получения пищевых добавок и обогащенных чайных продуктов / П.Ф. Кононков, М.С. Гинс, В.К. Гинс // Картофель и овощи. – № 1. – 2004. – С. 29-30.

78. Кононков П.Ф. Освоение амаранта в России / П.Ф. Кононков, В.К. Гинс, М.С. Гинс // Аграрное обозрение. - 2013. - №4 (38). - С. 22-28.

79. Корячкина С.Я. Совершенствование технологий хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий функционального назначения: монография

[Текст] / С.Я. Корячкина, Г.А. Осипова, Е.В. Хмелёва и др.– Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет–УНПК», 2012. – 262 с.

80. Костюченко М.Н. Обогащение хлебобулочных изделий микронутриентами: международный опыт и новые тенденции / М.Н. Костюченко, В.М. Коденцева, Л.Н. Шатнюк // Хлебопродукты. – 2019. - №7. – С. 36-41.

81. Крахмалева Т.М. Обогащение макаронных изделий эссенциальными факторами питания / Т.М. Крахмалева, Х.Б. Дусаева // Перспективы развития пищевой и химической промышленности в современных условиях: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 24-25 октября 2019 г., Оренбург. Изд.: ОГУ. – 2019. – С. 23-26.

82. Крыштановский А.О. Анализ социологических данных с помощью пакета SPSS: учеб.пособие для вузов / А.О. Крыштановский. – Москва: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2006. – 128 с.

83. Курганников П.Ю. Исследование влияния дайкона на хлебопекарные свойства пшеничной муки / П.Ю. Курганников, М.С. Гинс, Н.М. Дерканосова, К.Ю. Лавлинская и др. // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. - Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – 2019. - №1(12). – С. 15-21.

84. Курганников П.Ю. Сырьевые ингредиенты, обогащающие хлебобулочные изделия пищевыми волокнами / П.Ю. Курганников, Н.М. Дерканосова, И.И. Зайцева // Современному АПК - эффективные технологии: материалы Междунар. науч.-практ. конф. - Ижевск : ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2019. - Т. 1. Агрономия. - С. 256-259.

85. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. – Спб.: ВHV – Санкт-Петербург, 1997. – 384 с.

86. Куркина Н. XI Симпозиум «Хлеб – основа здорового питания» // Хлебопродукты. – 2018. - №4. – С. 10-11.

87. Курмангалиева А.Р. Исследование и распространение амаранта (ширицы обыкновенной) // Материалы IV научно-практической конференции

студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы химии и образования» (28 ноября 2018 г.). Астрахань: Изд. АГУ. – 2018. – С. 15-17.

88. Курчаева Е.Е. Влияние пробиотических комплексов на структурную организацию тканей и органов кроликов / Е.Е. Курчаева, Е.В. Михайлов // Вестник КрасГАУ. – 2019. - №12(153). – С. 112-118.

89. Кучер А.С. Исследование влияния амарантовой муки на качество хлебобулочных изделий / А.С. Кучер, Т.П. Троцкая, С.С. Ануфрик, С.Н. Анучин // Пищевая промышленность: Наука и технологии. – 2018. - №3(41). – С. 44-52.

90. Ломова В.Д. Амарант Воронежской селекции как обогащающий ингредиент хлебобулочных изделий / В.Д. Ломова, Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова // Материалы 68-й студ. науч. конф. Молодежный вектор развития аграрной науки. – Воронеж, 01 марта-30 апреля 2017 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 420-425.

91. Лужнова Н.В. Опрос как метод маркетинговых исследований / Н.В. Лужнова, М.И. Дергунова, А.В. Мельникова // Молодой ученый. - 2015. - №23. - С. 588-591.

92. Лупанова О.А. Разработка технологии и оценка потребительских свойств кондитерских изделий с красителями из амаранта : диссертация ... кандидата технических наук : 05.18.01. – Воронеж, 2016. – 180 с.

93. Лященко Г.А. Влияние сроков посева на урожайность зернового амаранта в лесостепи ЦЧР / Г.А. Лященко, С.В. Кадыров // Зерновое хозяйство. – 2007. - №3-4. – С. 22-23.

94. Лященко Г.А. Основные приемы агротехники зернового амаранта в лесостепи ЦЧР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09 / Г.А. Лященко. – Воронеж, 2007. – 22 с.

95. Магомедов Г.О. Сбивные безглютеновые мучные кондитерские изделия на основе амарантовой муки / Г.О. Магомедов, Т.А. Кучменко, Т.А. Шевлякова, И.В. Плотникова и др. // Хлебопродукты. – 2014. - №6. – С. 47-49.

96. Магомедов Г.О. Жмых амаранта – перспективное сырье в производстве печенья повышенной пищевой ценности / Г.О. Магомедов, И.В. Плотникова, А.Я. Олейникова, Т.А. Шевякова и др. // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. – Бийск: Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет», 2013. – С. 398–401.

97. Магомедов Г.О. Техника и технология получения пищевых продуктов термопластической экструзией / Г.О. Магомедов, А.Ф. Брехов. — Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. технол. акад., 2003. — 168 с.

98. Магомедов И.М. Сквален – как антигипоксанти в организмах животных и растений / И.М. Магомедов, Т.В. Чиркова, А.И. Чиркова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. - №5-1. – С. 90-92.

99. Макарова А.Н. Исследование потребительского спроса на мучные кондитерские изделия с функциональными ингредиентами / А.Н. Макарова, О.С. Фоменко // Аграрные конференции. – 2017. – № 4(4). – С. 1–9.

100. Мартинчик А.Н. Влияние экструзии на сохранность аминокислот и пищевую ценность белка / А.Н. Мартинчик, А.Ю. Шариков // Вопросы питания. – 2015. - №3. – С. 13-21.

101. Матвеева И.В. Использование амарантовой муки в производстве безглютеновых изделий / И.В. Матвеева, В.В. Нестеренко // Хлебопродукты. – 2011. – № 12. – С. 48–49.

102. Мерман А.Д. Разработка и оценка качества мучных кондитерских изделий с растительными маслами / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / 05.18.15. – Кемерово, 2013. – 169 с.

103. Методы морфологических исследований, 2-е издание, исправленное и дополненное / С.М. Сулейманов, с соавт. ГНУ ВНИВИПФиТ. - Воронеж, 2007. - 87 с.

104. Михайлов Е.В. Структурная организация паренхиматозных органов и экспрессия цитохромов P450У крыс при применении колистина / Е.В. Михайлов, О.Ю. Фоменко, Г.А. Востроилов, П.А. Паршин // Ветеринарный фармакологический вестник. – 2018. - №2(3). – С. 42-48.

105. Михеева Л.А. Экстракция амарантового масла и изучение его физико-химических свойств / Л.А. Михеева, Г.Т. Брынских, А.Р. Якубова // Ульяновский медико-биологический журнал. - 2014. - №3. - С. 129-134.

106. МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». М.: Роспотребнадзор, 2008. – 41 с.

107. Никитин И.А. Безглютеновые мучные кондитерские изделия на основе амарантовой муки / И.А. Никитин, А.И. Пыресева, В.Г. Кулаков, Е.С. Коровина // Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 3. г. Новосибирск, 2016. – С. 118-121.

108. Никитин И.А. Технология мучных кондитерских изделий для людей с нарушением метаболизма глютена / И.А. Никитин, Н.Г. Иванова, Е.С. Старостина, В.Я. Черных // Хлебопродукты. – 2019. - №3. – С. 53-56.

109. Никитин И.А. Применение муки амаранта и модифицированных композиций на его основе в технологии хлеба: автореф. дисс ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Никитин Игорь Алексеевич. – Воронеж, 2005. – 153 с.

110. Осипенко Е.Ю. Перспективы использования амаранта в пищевой промышленности / Е.Ю. Осипенко, Д.Ю. Гаращук // Сборник статей XI Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения», Пенза, 5 декабря 2018 г, Изд.: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2018. – С. 40-42.

111. Османьян Р.Г. Использование амарантовой белковой муки в производстве пшеничного хлеба [амарантовая мука - вторичный продукт при производстве амарантового масла] // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2011. - №1. – С. 72.

112. Остриков А.Н. Комплексная оценка качества экструдированных палочек / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.С. Рудометкин // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2003. - №8. - С. 150-153.

113. Остриков А.Н. Технология экструзионных продуктов / А.Н. Остриков, Г.О. Магомедов, Н.М. Дерканосова и др. – СПб: «Перспектив науки», 2007. – 202 с.

114. Офицеров Е.Н. Амарант – перспективное сырье для пищевой и фармацевтической промышленности // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2001–2002. – Т.2. – №5–8. – С. 1–4.

115. Паршин П.А. Морфологическая структура печени белых крыс при изучении хронической токсичности аминоселетона / П.А. Паршин, Е.В. Михайлов, Г.А. Востроилова, Н.А. Хохлова и др. // Ветеринарный фармакологический вестник. – 2019. - №2(7). – С. 9-13.

116. Пат. 2222223С2 Российская Федерация, МПК 7 А23L1/16. Способ производства макаронных изделий с использованием нетрадиционного сырья – амаранта / Петрова Е.В., Шерстнева М.В., Шнейдер Д.В.; заявитель и патентообладатель Государственный НИИ хлебопекарной промышленности Государственное унитарное предприятие Закрытое акционерное общество «Макарон-Сервис». – № 2001125728/13; заявл. 21.09.2001; опубл. 27.01.2004.

117. Пат. 2538400 РФ, А 21 D 13/08. Способ производства безглютенового мучного кондитерского изделия [Текст] / И.М. Жаркова, М.В. Хромых (Россия). - № 2012151180/13; заявлено 29.11.2012; Опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.

118. Пат. 2579257 РФ, С1 МПК А21D 13/04. Способ производства безглютенового хлеба / И.М. Жаркова, Л.А. Мирошниченко, Ю.Ф. Росляков, А.А. Кликонос. – №2015102878/13; заявлено 28.01.2015; опубл. 10.04.2016. Бюл. №10. – 7 с.

119. Пащенко Л. Использование шрота амаранта и коллагенового гидролизата в производстве пряников / Л. Пащенко, Л. Антипова, В. Пащенко // Хлебопродукты. – 2010. - №7. – С. 28-30.

120. Пащенко Л.П. Вторичное растительное сырье – биологически активная составляющая для создания продуктов питания нового поколения / Л.П. Пащенко, В.Л. Пащенко // Вестник ВГУИТ. - 2012. - №1. - С. 100-106.

121. Пащенко Л.П. Практикум по технологии хлеба, кондитерских и макаронных изделий / Л.П. Пащенко, Т.В. Санина, Л.И. Столярова и др. — Москва: КолосС, 2006. — 215 с.

122. Пащенко Л.П. Технология хлебобулочных изделий [Текст] / Л.П. Пащенко, И.М. Жаркова. – Москва: КолосС, 2006. – 389 с.

123. Петриченко В.В. Водопоглотительная способность муки / В.В. Петриченко, Ю.А. Вершкова, В. Strubbe // Хлебопродукты. – 2013. – № 9. – С. 36-38.

124. Плужникова П.А. Кексы с амарантовой мукой / П.А. Плужникова, Е.Ю. Егорова // Ползуновский Вестник. – 2016. – №4. – С. 23–27.

125. Попов И.А. Перспективы использования амаранта овощного в пищевой промышленности // И.А. Попов, И.В. Максимов, В.И. Манжесов // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2016. - № 2(7). - С. 50-59.

126. Пюнтенер К. Все дело в тесте // Хлебопродукты. – 2018. – № 10. - С. 16-19.

127. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания, утверждены Приказом №614 Минздравсоцразвития России от 13.08.2016 г.

128. Ромашко Н.Л. Использование продуктов помола зерна амаранта в хлебопечении / Н.Л. Ромашко, И.А. Чалова, Н.А. Шмалько // Международным журнал экспериментального образования. – 2010. - №8. – С. 157-158.

129. Ружило Н.С. Использование семян амаранта в хлебобулочных изделиях // Пищевая промышленность. – 2015. - №12. – С. 56-58.

130. Ружило Н.С. Изучение реологических свойств желированных изделий на основе амаранта дальневосточных сортов / Н.С. Ружило, А.А. Алферова, Т.Н. Слуцкая // Вестник КГАУ. – 2018. - № 1(136) – С. 133-140.

131. Ружило Н.С. Изучение свойств зеленой массы местных сортов амаранта и установление сроков ее хранения для пищевого использования / Н.С. Ружило, А.А. Юферова // Сборник научных трудов III Международного форума «Инновационные технологии обеспечения безопасности и качества продуктов питания. Проблемы и перспективы», V Международной научно-технической конференции «Безопасность и качество продуктов питания. Наука и образование». - 2014. - II часть. - С. 158-160.

132. Русакова Ю.А. Показатели качества зерна пшеницы и их роль в формировании хлебопекарной силы муки / Ю.А. Русакова, Ф.А. Анварова, Р.И. Белкина // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: Сборник материалов LII Международной студенческой научно-практической конференции. Тюмень, 15 марта 2018 г. – 2018. – С. 164-167.

133. Рябова А.В. Новая начинка для мясных полуфабрикатов в тесте / А.В. Рябова, Ю.Н. Нелепов // Мясная индустрия. – 2015. - №6. – С. 21-23.

134. Сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://voronezhstat.gks.ru/naselenie>, доступ свободный.

135. Саратовский Л.И. Биологические особенности, урожай и качество семян новых сортов амаранта в зависимости от агротехнических приемов / Л.И. Саратовский, Т.Г. Ващенко, В.В. Казазян // Вестник ВГАУ. – 2013. - №2(37). – С. 130-135.

136. Саратовский Л.И. Зерновой и кормовой амарант: монография / Л.И. Саратовский, А.Л. Саратовский; под ред. В.А. Федотова. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2014. – 254 с.

137. Саратовский Л.И. Новые сорта амаранта, их особенности / Л.И. Саратовский, А.Л. Саратовский // Инновационные технологии производства зерновых, зернобобовых, технических и кормовых культур: Юбилейный сборник научных трудов / колл. авторов; под общей ред. проф. В.А. Федотова. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 233-245.

138. Саратовский Л.И. Новые сорта кормового амаранта Рубин и Добрыня / Л.И. Саратовский, Т.Г. Пашенко // Фермер. Поволжье. – 2018. - №6(70). – С. 60-62.

139. Саратовский Л.И. Элементы сортовой технологии выращивания амаранта в степной зоне Центрального Черноземья / Л.И. Саратовский, Т.Г. Ващенко, В.А. Федотов, В.В. Казарян // Вестник Воронежского государственного университета. Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2018. - №1(56). - С. 22-31.

140. Сборник технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий. - Москва: Прейскурантиздат, 1989. - 495 с.

141. Семенкина Н.Г. Использование амарантовой муки в производстве слоеных хлебобулочных изделий / Н.Г. Семенкина, О.Е. Тюрина, И.А. Никитин, Е.В. Филатова // Хлебопродукты. – 2018. - № 3. – С. 42-45.

142. Сидоренко Т.А. Амарантовая мука - антиоксидантная добавка для макаронных изделий, обогащенных бета-каротином // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2006. - №1. – С. 61.

143. Скобельская З.Г. Амарантовая мука - ингредиент повышения пищевой ценности вафельного листа / З.Г. Скобельская, И.А. Любенина, М.С. Гинс, В.В. Колпакова // Материалы докладов XII Международной конференции «Кондитерские изделия XXI века», 25–27 февраля 2019 г. – Москва: 2019. – С. 50-52.

144. Скурихин И.М. Химический состав пищевых продуктов [Текст]: / И.М. Скурихин, М.Ф. Нестерин. – Москва, 1978. – 276 с.

145. Славина В.В. Региональные растительные добавки в технологии хлеба пшеничного // Биотехнологические аспекты управления технологиями пищевых продуктов в условиях международной конкуренции: сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (19 марта 2019 г.) / под общ. ред. проф. Сухановой С.Ф. – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2019. – С. 48-52.

146. Смирнов С.О. Амарант – перспективное сырье для пищевой промышленности / С.О. Смирнов, С.А. Урубков // Труды XIII международной научно-практической конференции «Пища. Экология. Качество», отв. за выпуск: О.К. Мотовилов, Н.И. Пыжикова и др. - Том. III. П-Я. – 2016. – С. 210-216.

147. Смирнов С.О. Глубокая переработки зерна амаранта с получением нативных многофункциональных компонентов для продуктов питания / С.О. Смирнов, А.С. Дронов // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. – 2016. - №5. – С. 205-218.

148. Смирнов С.О. Разработка и производство многофункциональных продуктов из зерновых и крупяных культур на основе технологий их глубокой переработки / С.О. Смирнов, С.А. Урубков // Труды XIII международной научно-практической конференции «Пища. Экология. Качество», 18-19 марта 2016, Красноярск, Изд.: Красноярский государственный аграрный университет, 2016. – С. 217-222.

149. Смирнов С.О. Разработка технологии разделения зерна амаранта на анатомические части и получения из них нативных продуктов / Диссертация на соискание степени кандидата технических наук / 05.18.01. – М., 2006. – С. 215.

150. Смирнов С.О. Разработка технологии разделения зерна амаранта на анатомические части и получения из них нативных продуктов.: Дисс. канд. техн. наук: 05.18.01 - Москва, 2006, - 215 с.

151. Смирнова С.О. Использование нетрадиционного сырья в производстве макаронных изделий повышенной пищевой ценности / С.О. Смирнова, О.Ф. Фазиулина // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 3. – С. 454–469.

152. Соколенко Г.Г. Разработка технологии пивного напитка с использованием листьев амаранта / Г.Г. Соколенко, Е.С. Шилова // Пиво и напитки. – 2015. - №4. – С. 62-65.

153. Соколова О.Я. Влияние технологических факторов экструзии на сорбционную способность зернопродуктов / О.Я. Соколова, А.В. Стряпков,

С.В. Антимонов, С.Ю. Соловых // Вестник оренбургского государственного университета. – 2005. - № 10-2 (48). – С. 150-155.

154. Соловьева Т.И. Совершенствование технологии и перспективы использования амарантовой муки / Т.И. Соловьева, Д.А. Шаталов, О.А. Суворов // Научные исследования XXI века. – 2020. - №1(3). – С. 105-111.

155. Станкевич Г.Н. Исследование кинетики сушки зерна амаранта / Г.Н. Станкевич, Н.А. Валентинюк // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе: сборник научных статей Первых Международных Лыковских научных чтений, посвящённых 105-летию академика А.В. Лыкова, 22-23 сентября, 2015 Изд.: ЗАО «Университетская книга». – 2015. – С. 244-246.

156. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 г. №1364-р.

157. Субботин И.Г. Сравнительная морфофункциональная характеристика желудочно-кишечного тракта крыс при применении некоторых пребиотиков: автореф. дис. ... канд. вет. наук. Саратов, 2009. 19 с.

158. Субботина Н.А. Использование льняной муки в технологии производства пшеничного хлеба // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Курганской области (19 марта). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2018. – С. 77-81.

159. Таганова Н.С. Влияние экструдата ржи на потребительские свойства хлеба / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / 05.18.15. – Москва, 2009. – 140 с.

160. Таипова Р.М. Амарант: особенности культуры, применение, перспективы возделывания в России и создания трансгенных отечественных сортов / Р.М. Таипова, Б.Р. Кулуев // Биомика. – 2015. - № 4. – С. 284 – 299.

161. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. / Б.Н. Тарасевич. – Москва: Изд-во МГУ. – 2012. – 55 с.

162. Тертычная Т.Н. Технология хлебопекарного производства / Т.Н. Тертычная, В.И. Манжесов, С.В. Калашникова. – Воронеж: ВГАУ, 2010. – 179 с.

163. Технология экструзионных продуктов: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 260202 (270300) «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий» направления подготовки дипломированного специалиста 260200 (655600) «Производство продуктов питания из растительного сырья» / А.Н. Остриков [и др.]. — Санкт-Петербург : Проспект Науки, 2007. — 199 с.

164. Уажанова Р.У. Хлеб «Иллийский» функционального назначения [Введение в рецептуру пшеничного хлеба жмыха или масляного экстракта амаранта] / Р.У. Уажанова, М.Ж. Кизатова // Вестник КрасГАУ. - Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск. – 2010. – Вып. 9. – С. 177-180.

165. 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, Н.А. Шмалько. Краснодар: Изд. ФГБОУ ВО КубГТУ, 2016. – 348 с.

166. Урубков С.А. Сравнительный анализ гликемического индекса амаранта и других продуктов без глютена / С.А. Урубков, С.С. Хованская, С.О. Смирнов // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 4. – С. 629–634.

167. Усков А.С. Разработка макаронных изделий повышенной биологической ценности / А.С. Усков, Д.Ф. Валиулина // Качество продукции, технологий и образования: материалы XIII Международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 30 марта 2018 г. – 2018. – С. 113-115.

168. Фазуллина О.Ф. Использование растительных обогащающих добавок при производстве макаронных изделий: литературный обзор / О.Ф. Фазуллина, С.О. Смирнов // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2019. – №3, Т.22 – С. 449-457.

169. Фетина Н. Бизнес-форум «Развитие производства специализированной пищевой продукции – новый формат взаимодействия индустрии и медицины» // Хлебопродукты. – 2018. - №6. – С. 16-18.

170. Физиологические, биохимические и биометрические показатели нормы экспериментальных животных: справочник / под ред. В.Г. Макарова, М.Н. Макаровой. – СПб.: Лема, 2013. – 116 с.

171. Фурса Н.С. Состав жирных кислот масла семян амаранта печального / И.М. Корейская, Н.С. Фурса, Л.А. Мирошниченко // Фармация. - 2011. - № 8. - С. 16-18.

172. Хаматгалеева Г.А. Разработка рецептуры и технологии производства хлеба с добавлением ламинарии, амарантовой, овсяной и рисовой муки // Современная наука и инновации. – 2017. - №2 (18). – 120-126.

173. Чешинский В.Л. Актуальные вопросы развития хлебопекарной отрасли России / В.Л. Чешинский // Хлебопродукты. – 2018. - №1. – С. 16-17.

174. Чижова К.Н. Технохимический контроль хлебопекарного производства / К.Н. Чижова, Т.И. Шкваркина, Н.В. Зепенина и др. // Москва: Пищевая промышленность, 1975. – 480 с.

175. Шеламова С.А. Приготовление закваски с применением амаранта / С.А. Шеламова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева и др. // Хлебопродукты. – 2018. - №6. – С. 50-52.

176. Шмалько Н.А. Амарант в пищевой промышленности / Н.А. Шмалько, Ю.Ф. Росляков. - Краснодар: Просвещение-Юг, 2011. - 489 с.

177. Шмалько Н.А. Амарантовая мука - антиоксидантная добавка для макаронных изделий, обогащенных β -каротином / Н.А. Шмалько, И.И. Уварова, Ю.Ф. Росляков // Изв. вузов. Пищ. технология. - 2004. - № 5/6. - С. 39-41.

178. Шмалько Н.А. Инновационные способы и технологии размола зерна амаранта // «Устойчивое развитие, экологически безопасные технологии и оборудование для переработки пищевого сельскохозяйственного сырья; импортопереживание». – Сборник материалов международной научнопрактической конференции, 21 июня 2016 г. Краснодар: КубГТУ, 2016. – С. 270-273.

179. Шмалько Н.А. Использование продуктов переработки семян амаранта в производстве макаронных изделий специального назначения улучшенного качества / Н.А. Шмалько, И.И. Уварова, Т.В. Белоусова // Тр. КубГТУ. Т. XI. – Сер. Технологии пищевых производств. Вып. 1. Краснодар: КубГТУ, 2001. – С. 209–214.

180. Шмалько Н.А. Использование экструдированных продуктов в хлебопечении / Н.А. Шмалько, А.В. Беликов, Ю.Ф. Росляков // Фундаментальные исследования. – 2007. - №7. – С. 90-92.

181. Шмалько Н.А. Перспективы использования амарантовой белковой муки в хлебопечении / Н.А. Шмалько, Н.А. Дроздовская, И.А. Чалова, Н.Л. Ромашко // Техника и технология пищевых производств. – 2009. - №1(12). – С. 2-7.

182. Шмалько Н.А. Современные технологии ржано-пшеничного хлеба с использованием амарантовой муки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. - 2021. - №2-3 (380-381). - С. 6-9.

183. Шмалько Н.А. Способ производства пшеничного булочного изделия с добавлением амарантовой муки / Н.А. Шмалько, С.О. Смирнов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2018. - №1(361). – С. 49-53.

184. Шмалько Н.А. Способ производства хлеба при добавлении амарантовой крупяной муки / Н.А. Шмалько, С.О. Смирнов // Ползуновский вестник. – 2018. - №1. – С. 27-31.

185. Шмалько Н.А. Способы повышения биологической ценности макаронных изделий / Н.А. Шмалько, Е.О. Сидоренко, Ю.Ф. Росляков // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. - № 5-6 (300-301). – С. 7-10.

186. Шмалько Н.А. Хлебопекарные свойства ржано-пшеничной смеси с амарантовой крупяной мукой // Научные труды КубГТУ, 2017. – № 5. – С. 243-253.

187. Шогенов Ю.М. Совершенствование технологии производства макаронных изделий, отличающихся высокой питательной ценностью / Ю.М. Шогенов, З.А. Иванова, Ф.Х. Нагудова, З.Х. Топалова // «Инновационное развитие аграрной науки и образования» Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию чл.-корр. РАСХН, Заслуженного деятеля науки РСФСР и РД, профессора М.М. Джамбулатова, Махачкала, 23 декабря 2015 г. – С. 317-320.

188. Шубина Я.И. Использование амарантовой муки при производстве сахарного печенья / Я.И. Шубина, И.А. Чалова, Н.А. Шмалько // Современные наукоемкие технологии (Пенза), 2010. – №3. – С. 57-61.

189. Шуршикова Г.В. Методика расчета структуры мучной смеси для производства обогащенных хлебобулочных изделий / Г.В. Шуршикова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева // Труды КубГАУ. – 2016. - №63. – С. 191-198.

190. Щедрин Д.С. Амарант овощной - перспективное сырье для пищевой промышленности / Д.С. Щедрин, И.А. Попов, В.И. Манжесов, М.В. Аносова // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2018. - №1(10). – С. 55-60.

191. Эйнгор А.Б. Жиропоглощающая способность порошкообразного сырья кондитерского производства / А.Б. Эйнгор, Н.Н. Портнова, С.Н. Холомонова и др. // Хлебопекарное и кондитерское производства. – 1996. – № 2. – С. 41-42.

192. Юдин Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования. Изд.2. - URSS. 2010. - 392 с.

193. Юсифов Н.М. Зерно амаранта - источник функционального питания / Н.М. Юсифов, К.Ш. Дашдемидов, Ш.А. Амиров и др. // Наука и современность. - 2014. - С. 119-121.

194. Явкина Д.И. SWOT-анализ факторов, влияющих на качество и продвижение на рынке обогащенных хлебобулочных изделий / Д.И. Явкина, Н.В. Кузьмина, Т.С. Полева // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2019. – № 3-4. – С. 121-124.
195. Amin I., Norazaidah Y., Emmy H.K.I. Antioxidant activity and phenolic content of raw and blanched *Amaranthus* species. // *Food Chemistry* 2006. Vol. 94, No 1. - pp. 47-52.
196. Bojňanská T., Šmítalová J. The influence of additional flours on the retention ability of dough and the technological quality of bakery products // *Potravinárstvo*. - 2015. - Vol. 9, No 1. - pp. 242-246.
197. Capriles V.D., Coelho K.D., Guerra-Matias A.C., Areas J.A. Effects of processing methods on amaranth starch digestibility and predicted glycemic index // *Journal of Food Science*. - 2008. - Vol. 73, No 7. - pp. H160-164.
198. Centeno Tablante E., Pachón H., Guetterman H.M., Finkelstein J.L. Fortification of wheat and maize flour with folic acid for population health outcomes // *Cochrane Database of Systematic Reviews*. – 2019. - Iss. 7. - Art. No CD012150.
199. Dai Z., Koh W.P. B-Vitamins and Bone Health – A Review of the Current Evidence // *Nutrients*. – 2015. – Vol. 7. – No 5. – pp. 3322–3346.
200. De Bock P., Daelemans L., Selis L. and oth. Comparison of the chemical and technological characteristics of wholemeal flours obtained from amaranth (*Amaranthus* sp.), quinoa (*chenopodium quinoa*) and buckwheat (*fagopyrum* sp.) seeds. – *Foods*. - 2021. - Vol. 10. - Iss. 3. - pp. 651.
201. Gamel T.H., Linssen J.P. Nutritional and medicinal aspects of amaranth // *Recent Progress in Medicinal Plants*. - 2006. - Vol. 15. - pp. 347–361.
202. Gamel T.H., Mesallam A.S., Damir A.A. Characterization of amaranth seed oils // *Journal Food Lipids*. – 2007. – No 14. – pp. 323–334.
203. Guy R. Extrusion cooking: technologies and applications // Woodhead publishing Ltd. Cambridge, 2001. – p. 206.

204. Kovacs E.T., Berghoter E., Schonlecher R., Glattes H. Structure of functional foods of pseudo-cereal based products // Veroffentl. Arbeitsgemeinschaft. Getreideforschung. V. – Detmold, 2000. – Bd. 283. – p. 51–60.
205. Lado M.B., Burini J., Rinaldi G. and oth. Effects of the dietary addition of Amaranth (*Amaranthus mantegazzianus*) protein isolate on antioxidant status, lipid profiles and blood pressure of rats // *Plant Foods Hum. Nutr.* 2015. - Vol. 70. - pp. 371-379.
206. Lancíková V., Hricová A., Tomka M. Morphological responses and gene expression of grain amaranth (*Amaranthus* spp.) growing under CD // *Plants.* – 2020. – No 5. – pp. 572.
207. Lau T.Q., Tang V.T.H., Kandedo J. Influence of soil and light condition on the growth and antioxidants content of *Amaranthus Cruentus* (Red Amaranth) Microgreen. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – 2019. – Vol. 495 - Iss. 1. - № 012051.
208. Lobanov A.A. Economic effect of innovative flour-based functional foods production. *Foods and Raw Materials.* - 2018. - Vol. 6. - No. 2. - pp. 474-482.
209. Maldonado-Cervantes E., Jeong H.J., Leon-Galvan F. and oth. Amaranth lunasin-like peptide internalizes into the cell nucleus and inhibits chemical carcinogen-induced transformation of NIH-3T3 cells // *Peptides.* - 2010. - Vol. 31. - pp. 1635-1642.
210. Michell K.A., Isweiri H., Newman S.E. and oth. Microgreens: Consumer sensory perception and acceptance of an emerging functional food crop. - *Journal of Food Science.* – 2020. – Vol. 84. - Iss.4. - pp. 926-935.
211. Munusamy U., Abdullah S.A., Aziz M.A., Khazaai H. Female reproductive system of *Amaranthus* as the target for *Agrobacterium*-mediated transformation // *Advances in Bioscience and Biotechnology.* - 2013. - Vol. 4. - pp. 188–192.
212. Ogrodowska D., Zadernowski R., Czaplicki S. Amaranth seeds and products – the source of bioactive compounds // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences.* – 2014. – No 64 (3). – pp. 165–170.

213. Olimjonov S.S., Ziyavitdinov J.F., Bozorov S.S. Comparative chemical composition of seeds of amaranth varieties introduced in Uzbekistan // *Nova biotechnologica et chimica*. - 2020. – No 31 – pp. 61-69.

214. Pal A., Swain S.S., Das A.B. Stable germ line transformation of a leafy vegetable crop amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) mediated by *Agrobacterium tumefaciens* // *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 2013. - Vol. 49. pp. 114-128.

215. Panei C., Tassara F., Pérez Aguirreburualde M. and oth. Seroprevalencia de infección por el virus de leucosis bovina durante 2015 en rodeos de cría de la Zona Deprimida del Río Salado, provincia de Buenos Aires // *Analecta Vet.* – 2017. – No 37. – pp. 65–68.

216. Park S.-J., Sharma A., Lee H.-J. A review of recent studies on the antioxidant activities of a third-millennium food: *Amaranthus* spp. *Antioxidants*. – 2020. – Vol. 9. - Iss. 12. - pp. 1-22.

217. Patil S., Brennan M., Mason S., Brennan C. The Effects of Fortification of Legumes and Extrusion on the Protein Digestibility of Wheat Based Snack // *Foods*. – 2016. – Vol. 5(2). – pp. 26.

218. Písaříková B., Kračmár R., Herzig I. Amino acid contents and biological value of protein in various amaranth species // *Czech Journal of Animal Science*. - 2005. - Vol. 50, No 4. - pp. 169-174.

219. Porter K. Causes, consequences and public health implications of low B-vitamin status in ageing // *Nutrients*. – 2016. – Vol. 8 (11). – pp. 725.

220. Rocchetti G., Tomas M., Zhang L. and oth. Red beet (*Beta vulgaris*) and amaranth (*Amaranthus* sp.) microgreens: Effect of storage and in vitro gastrointestinal digestion on the untargeted metabolomic profile. *Food Chemistry*. – 2020. – Iss. 322. - № 127415.

221. Sabbione A.C., Rinaldi G., Anon M.C., Scilingo A.A. Antithrombotic effects of *Amaranthus hypochondriacus* proteins in rats // *Plant Foods Hum. Nutr.* 2015.

222. Sajdakowska M., Gebiski J., Jezewska-Zychowicz M., Krolak M. Consumer choices in the bread market: The importance of fiber in consumer decisions. *Nutrients*. - 2021. – Vol. 13(1), Iss. 132, pp. 1-14.

223. Sanz–Penella J. Wronkowska M., Soral–Smietana M., Haros M. Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value // *LWT Food Science and Technology*. - 2013. - Vol. 50. - No. 2. - pp. 679-685.

224. Schaafsma G. The protein digestibility – corrected amino acid score. *The Journal of Nutrition*, 2000, - Vol. 130, - Iss. 7, - pp. 1865s-1867s.

225. Tovar-Perez E.G., Lugo-Radillo A., Aguilera-Aguirre S. Amaranth grain as a potential source of biologically active peptides: a review of their identification, production, bioactivity and characterization. *Food Reviews International*. – 2019. – No 35(3). – pp. 221–245.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Анкета определения лояльности потребителей к обогащенным
хлебобулочным изделиям

--

Уважаемый респондент!

В целях проведения маркетингового исследования рынка хлебобулочных изделий, в частности определения ассортимента, потребительских предпочтений и выделения наиболее значимых факторов, влияющих на принятие решения о покупке, просим ответить Вас на приведенные ниже вопросы. Отметьте, пожалуйста, выбранные варианты ответов:

1. Как часто Вы приобретаете хлебобулочные изделия?

- А) Каждый день
- Б) 2-3 раза в неделю
- В) Раз в неделю
- Г) Очень редко, почти не приобретаю

2. Изделиям из какой муки Вы отдаете предпочтение?

- А) Из пшеничной
- Б) Из смеси ржаной и пшеничной
- В) Из смеси муки различных злаковых культур (овсяная, гречневая и т.д.)

3. Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?

- А) Хлеб
- Б) Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)
- В) Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и т.д.)
- Г) Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)
- Д) Национальные виды (лаваш, багет и др.)

4. Какая масса изделия, на Ваш взгляд, наиболее удобна?

- А) до 300 г
- Б) 400-500 г
- В) 600-800 г
- Г) Свыше 800 г
- Д) Изделие должно быть весовым

5. Что Вас не устраивает в ассортименте хлебобулочных изделий?

- А) Ассортимент
- Б) Качество
- В) Цена
- Г) Упаковка
- Д) Недостаточное присутствие лечебных, профилактических, обогащенных хлебобулочных изделий

6. Обращаете ли Вы внимание на информацию на этикетке?

- А) Да, всегда
- Б) Иногда
- В) Нет

7. Что для Вас наиболее значимо при выборе хлеба?

- А) Вкусовые характеристики
- Б) Полезность
- В) Привычка (традиционное присутствие на обеденном столе)
- Г) Удобство употребления (в составе бутербродов и т.п.)

8. Как Вы относитесь к изделиям с различными добавками, улучшающими пищевую ценность продукта?

- А) Предпочитаю традиционные изделия
- Б) Ни разу не приобретал(а) такие изделия, но хотелось бы попробовать
- В) Периодически покупаю
- Г) Предпочитаю только такие изделия

9. В пределе какой цены Вы бы хотели приобрести обогащенное хлебобулочное изделие (изделие с корректировкой пищевой ценности)?

- А) Цена не должна повышаться
- Б) Не более чем на 10% дороже традиционного изделия
- В) Не более чем на 20% дороже традиционного изделия
- Г) Не более чем на 30% дороже
- Д) Цена не имеет значения, важна полезность такого изделия (пищевая ценность, состав)

10. Каким диетическим и обогащенным изделиям Вы отдадите предпочтение?
(Возможны несколько вариантов ответов)

- А) Изделиям, обогащенным витаминами или минеральными веществами
- Б) Диабетическим изделиям
- В) Изделиям, обогащенным пищевыми волокнами
- Г) Изделиям, обогащенным антиоксидантами
- Д) Изделиям, обогащенным белковыми веществами
- Е) Безглютеновым изделиям
- Ж) Бессолевым изделиям
- З) Другим диетическим изделиям
- И) Другим обогащенным изделиям
- К) Не употребляю такие продукты

11. Готовы ли Вы к изменению традиционного вкуса, аромата, внешнего вида изделия при условии улучшения его состава?

- А) Готов(а) к полному изменению
- Б) Готов(а) к частичному изменению
- В) Не готов(а), хлеб должен оставаться хлебом

12. Какое направление обогащения, по Вашему мнению, стоит развивать?

- А) Обогащение пищевыми волокнами
- Б) Обогащение белковыми веществами
- В) Обогащение витаминами и минералами
- Г) Обогащение антиоксидантами
- Д) Не обращаю на это внимания

13. Какой фактор может повлиять на изменение Вашего выбора в сторону обогащенной продукции?

- А) Реклама в СМИ (на телевидении, радио, в сети Интернет, печатных изданиях), описывающая пользу обогащенного продукта
- Б) Совет друзей, знакомого, родственника
- В) Рекомендация врача/тренера для профилактики/лечения
- Г) Нетрадиционность изделия, любопытство к новому продукту
- Д) Я приверженец(а) своей привычки в питании

14. Знаете ли Вы, что такое амарант и каковы его полезные свойства?

- А) Да, знаю
- Б) Нет, не знаю, мне это не интересно
- В) Нет, не знаю, но хотелось бы узнать

15. Известно ли Вам, что продукция, подвергшаяся экструзии (кукурузные палочки, хлопья, «готовые» завтраки, снеки и др.), усваивается организмом лучше, чем обычная продукция?

- А) Известно
- Б) Неизвестно

16. Укажите, пожалуйста, Ваш пол: А) Мужской Б) Женский

17. Ваш возраст:

- А) 18-25 лет
- Б) 26-45 лет
- В) 46-60 лет
- Г) более 60 лет

18. Отметьте Ваш род занятий:

- А) учащийся (студент)
- Б) служащий
- В) рабочий
- Г) предприниматель
- Д) пенсионер
- Е) безработный
- Ж) другое

19. Уровень Вашего дохода:

- А) до 10 000 рублей
- Б) от 10 001 до 20 000 рублей
- В) от 20 001 до 35 000 рублей
- Г) более 35 001 рублей

Спасибо, что уделили нам время!

--

Таблицы сопряженности результатов анкетирования

Таблица 1 – Двухмерная таблица сопряженности для переменных VAR001 и VAR002

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?	VAR002 - Как Вы относитесь к изделиям с различными добавками, улучшающими пищевую ценность продукта?				Всего
	Ни разу не приобретал(а) такие изделия, но хотелось бы попробовать	Периодически покупаю	Предпочитаю только такие изделия	Предпочитаю традиционные изделия	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	0	0	0	4	4
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	12	34	6	44	96
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	0	6	4	8	18
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	4	26	6	20	56
Хлеб	10	86	18	112	226
Всего	26	152	34	188	400

Таблица 2 – Таблица сопряженности для переменных VAR001, VAR002, %

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?	VAR002 - Как Вы относитесь к изделиям с различными добавками, улучшающими пищевую ценность продукта?				Всего
	Ни разу не приобретал(а) такие изделия, но хотелось бы попробовать	Периодически покупаю	Предпочитаю только такие изделия	Предпочитаю традиционные изделия	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	12,5	35,4	6,3	45,8	100,0
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	0,0	33,3	22,2	44,4	100,0
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	7,1	46,4	10,7	35,7	100,0
Хлеб	4,4	38,1	8,0	49,6	100,0
Всего	6,5	38,0	8,5	47,0	100,0

Таблица 3 – Таблица сопряженности для переменных VAR001, VAR002, %

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?	VAR002 - Как Вы относитесь к изделиям с различными добавками, улучшающими пищевую ценность продукта?				Всего
	Ни разу не приобретал(а) такие изделия, но хотелось бы попробовать	Периодически покупаю	Предпочитаю только такие изделия	Предпочитаю традиционные изделия	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	0,0	0,0	0,0	2,1	1,0
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	46,2	22,4	17,6	23,4	24,0
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	0,0	3,9	11,8	4,3	4,5
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	15,4	17,1	17,6	10,6	14,0
Хлеб	38,5	56,6	52,9	59,6	56,5
Всего	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблица 4 – Наблюдаемые и ожидаемые частоты ответов для переменных VAR001 и VAR002

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?		VAR002 - Как Вы относитесь к изделиям с различными добавками, улучшающими пищевую ценность продукта?				Всего
		Ни разу не приобретал(а) такие изделия, но хотелось бы попробовать	Периодически покупаю	Предпочитаю только такие изделия	Предпочитаю традиционные изделия	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	Количество	0	0	0	4	2
	Ожидаемое количество	0,2	1,6	0,4	1,9	4,0
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	Количество	12	34	6	44	96
	Ожидаемое количество	6,2	36,4	8,2	45,2	96,0
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	Количество	0	6	4	8	18
	Ожидаемое количество	1,2	6,8	1,6	8,4	18,0
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	Количество	4	26	6	20	56
	Ожидаемое количество	3,6	21,2	4,8	26,4	56,0
Хлеб	Количество	10	86	18	112	226
	Ожидаемое количество	14,6	85,8	19,2	106,2	226,0
Всего	Количество	26	152	34	188	400
	Ожидаемое количество	26,0	152,0	34,0	188,0	400,0

Таблица 5 – Двухмерная таблица сопряженности для переменных VAR001 и VAR003

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?	VAR003 - Какое направление обогащения, по Вашему мнению, стоит развивать?					Всего
	Не обращаю на это внимания	Обогащение антиоксидантами	Обогащение белковыми веществами	Обогащение витаминами и минералами	Обогащение пищевыми волокнами	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	0	0	0	4	0	4
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	24	6	18	22	26	96
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	8	2	0	8	0	18
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	24	2	8	10	12	56
Хлеб	68	6	30	42	40	226
Всего	124	16	56	126	78	400

Таблица 6 – Таблица сопряженности для переменных VAR001, VAR003, %

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?	VAR003 - Какое направление обогащения, по Вашему мнению, стоит развивать?					Всего
	Не обращаю на это внимания	Обогащение антиоксидантами	Обогащение белковыми веществами	Обогащение витаминами и минералами	Обогащение пищевыми волокнами	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	25,0	6,3	18,8	22,9	27,1	100,0
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	44,4	11,1	0,0	44,4	0,0	100,0
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	42,9	3,6	14,3	17,9	21,4	100,0
Хлеб	30,1	2,7	13,3	36,3	17,7	100,0
Всего	31,0	4,0	14,0	31,5	19,5	100,0

Таблица 8 – Наблюдаемые и ожидаемые частоты ответов для переменных VAR001 и VAR003

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?		VAR003 - Какое направление обогащения, по Вашему мнению, стоит развивать?					Всего
		Не обращаю на это внимания	Обогащение антиоксидантами	Обогащение белковыми веществами	Обогащение витаминами и минералами	Обогащение пищевыми волокнами	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	Количество	0	0	0	4	0	4
	Ожидаемое количество	1,2	0,2	0,6	1,2	0,8	4,0
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	Количество	24	6	18	22	26	96
	Ожидаемое количество	28,8	3,8	13,4	30,2	18,8	96,0
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	Количество	8	2	0	8	0	18
	Ожидаемое количество	5,6	0,8	2,6	5,6	3,6	18,0
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	Количество	24	2	8	10	12	56
	Ожидаемое количество	17,4	2,2	7,8	17,6	11,0	56,0
Хлеб	Количество	68	6	30	82	40	226
	Ожидаемое количество	70,0	9,0	31,6	71,2	44,0	226,0
Всего	Количество	124	16	56	126	78	400
	Ожидаемое количество	124,0	16,0	56,0	126,0	78,0	400,0

Таблица 9 – Двухмерная таблица сопряженности для переменных VAR001 и VAR004

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?	VAR004 - Готовы ли Вы к изменению традиционного вкуса, аромата, внешнего вида изделия при условии улучшения его состава?			Всего
	Готов(а) к полному изменению	Готов(а) к частичному изменению	Не готов(а), хлеб должен оставаться хлебом	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	0	0	4	4
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	26	46	24	96
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	6	8	4	18
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	16	26	14	56
Хлеб	46	88	92	226
Всего	94	168	138	400

Таблица 10 – Таблица сопряженности для переменных VAR001, VAR004, %

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?	VAR004 - Готовы ли Вы к изменению традиционного вкуса, аромата, внешнего вида изделия при условии улучшения его состава?			Всего
	Готов(а) к полному изменению	Готов(а) к частичному изменению	Не готов(а), хлеб должен оставаться хлебом	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	0,0	0,0	100,0	100,0
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	27,1	47,9	25,0	100,0
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	33,3	44,4	22,2	100,0
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	28,6	46,4	25,0	100,0
Хлеб	20,4	38,9	40,7	100,0
Всего	23,5	42,0	34,5	100,0

Таблица 11 – Таблица сопряженности для переменных VAR001, VAR004, %

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?	VAR004- Готовы ли Вы к изменению традиционного вкуса, аромата, внешнего вида изделия при условии улучшения его состава?			Всего
	Готов(а) к полному изменению	Готов(а) к частичному изменению	Не готов(а), хлеб должен оставаться хлебом	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	0,0	0,0	2,9	1,0
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	27,7	27,4	17,4	24,0
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	6,4	4,8	2,9	4,5
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	17,0	15,5	10,1	14,0
Хлеб	48,9	52,4	66,7	56,5
Всего	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблица 12 – Наблюдаемые и ожидаемые частоты ответов для переменных VAR001 и VAR004

VAR001 - Какие хлебобулочные изделия Вы приобретаете чаще остальных?		VAR004 - Готовы ли Вы к изменению традиционного вкуса, аромата, внешнего вида изделия при условии улучшения его состава?			Всего
		Готов(а) к полному изменению	Готов(а) к частичному изменению	Не готов(а), хлеб должен оставаться хлебом	
Бараночные и сухарные изделия (баранки, сушки, бублики, сухари и др.)	Количество	0	0	4	4
	Ожидаемое количество	1	1,6	1,4	4,0
Булочные изделия (батоны, плетеные изделия, булки, сайки и др.)	Количество	26	46	24	96
	Ожидаемое количество	22,6	40,4	33,2	96,0
Национальные виды (лаваш, багет и др.)	Количество	6	8	4	18
	Ожидаемое количество	4,2	7,6	6,2	18,0
Сдобные и слоеные изделия (булочки, плюшки, круассаны, слойки и др.)	Количество	16	26	14	56
	Ожидаемое количество	13,2	23,6	19,4	56,0
Хлеб	Количество	46	88	92	226
	Ожидаемое количество	53,2	95	78,0	226,0
Всего	Количество	94	168	138	400
	Ожидаемое количество	94,0	168,0	138,0	400,0

Общая характеристика исследуемых сортов амаранта

Таблица 1 – Общая характеристика исследуемых сортов амаранта [136, 138, 139]

№ п/п	Наименование сорта	Оригинатор и патентообладатель	Авторы	Внесение в Госреестр селекционных достижений РФ	Цвет семян	Вегетационный период, дней	Урожайность (семена), ц/га	
							при ручном сборе	при механизированном сборе
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Воронежский	ООО «Русская Олива»	Гопций Т.И., Воронков Н.Ф., Саратовский Л.И.	2011	Белый	95-100	18,0-23,5	10,0-15,0
2	Гигант	ООО «Русская Олива»	Гопций Т.И., Воронков Н.Ф., Саратовский Л.И.	2011	Бело-кремовый	115-125	21,0-23,0	15,0-16,0
3	Император	ИП Саратовский Л.И.	Саратовский Л.И.	2014	Бело-кремовый	110-115	до 23,0	15,0
4	Универсал	ИП Саратовский Л.И.	Саратовский Л.И.	2014	Бело-кремовый	110-120	20,0-29,0	15,0-17,0
5	Воронежский-36	Саратовский А.Л.	Саратовский Л.И., Саратовский А.Л.	2016	Желтый	110-115	24,5-25,2	-
6	Рубин	ИП Саратовский Л.И.	Ващенко Т.Г., Казазян В.В., Саратовский Л.И., Саратовский А.Л., Щедрина Д.И.	2016	Бело-кремовый	125	20,0-25,0	-

Продолжение таблицы 1 Приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Добрыня	ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ	Асташкин Ю.В., Ващенко Т.Г., Зверева О.А., Казазян В.В., Саратовский Л.И., Саратовский А.Л., Щедрина Д.И.	2016	Черный	120-130	18,0-22,0	-
8	Валентина	ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»	Кононков П.Ф., Гинс В.К., Василевская Е.В., Гинс М.С.	1999	Черный	110-120	до 18,0	-

Результаты исследования состава зерна амаранта

Таблица 1 – Результаты исследования основных составляющих зерна амаранта

Сорт	Влажность, %	Массовая доля белка, %	Массовая доля жира, %	Массовая доля клетчатки, %	Массовая доля общего сахара, %	Массова я доля зола, %	Содержание фосфора, мг/100 г	Содержа ние кальция, мг/100 г
Воронежский-36	10,14	15,78	6,46	6,90	2,46	2,98	460	170
Воронежский	10,53	16,21	6,38	5,70	2,36	3,41	540	240
Император	10,19	19,57	11,71	7,50	2,36	3,99	450	250
Рубин	11,42	20,66	9,79	7,10	2,65	4,75	550	170
Универсал	9,46	26,47	13,81	8,90	4,1	8,08	630	360
Гигант	10,14	19,29	10,29	7,10	2,94	3,03	540	200
Добрыня	10,91	16,79	7,24	16,30	2,36	4,33	500	360
Валентина	11,6	16,10	6,94	19,40	2,55	6,04	460	480

Таблица 2 – Результаты исследования характеристик зерна амаранта

Сорт	Сухое вещество, г/кг	Обменная энергия, МДж/кг	Перевариваемый белок, г/кг
Воронежский-36	898,6	11,35	126,24
Воронежский	894,7	11,46	129,68
Император	898,1	11,72	156,56
Рубин	885,8	11,53	165,28
Универсал	905,4	11,80	211,76
Гигант	898,6	11,80	154,32
Добрыня	890,9	9,89	134,32
Валентина	884,0	9,08	128,8

Таблица 3 – Результаты исследования микроэлементов зерна амаранта, мг/100 г

Сорт	Медь	Железо	Цинк	Марганец
Воронежский-36	0,862	10,84	3,254	5,189
Воронежский	0,723	7,65	3,58	5,514
Император	0,72	8,18	3,099	5,078
Рубин	0,606	7,34	3,082	5,062
Универсал	1,298	9,0	3,089	4,488
Гигант	1,486	7,69	3,266	2,897
Добрыня	0,811	7,24	2,819	4,672
Валентина	0,536	7,59	3,133	8,24

Результаты анализа крови лабораторных животных

Таблица 1 - Основные показатели крови (контрольная группа)

Показатель	Результат	Норма [170]
Число лейкоцитов (WBC)	$6,3 * 10^9/л$	$5-23 * 10^9/л$
Число лимфоцитов (LYM)	$2,8 * 10^9/л$	$5-7 * 10^9/л$
Число гранулоцитов (GRA)	$2,2 * 10^9/л$	$2-9 * 10^9/л$
Лимфоциты (LYM)	53,3 %	45±3 %
Число эритроцитов (RBC)	$6,3 * 10^{12}/л$	$7-10 * 10^{12}/л$
Концентрация гемоглобина (HGB)	108 г/л	120-180 г/л
Средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах (MCHC)	28,1 г/л	[Отсутствует]
Среднее содержание гемоглобина в эритроцитах (MCH)	$17,2 * 10^{-12}г$	[Отсутствует]
Средний объем эритроцитов (MCV)	61,3 мкм ³	[Отсутствует]
Ширина распределения эритроцитов по объему CV (RDW-CV)	14,7 %	[Отсутствует]
Гематокрит (HCT)	38,4 %	35-45 %
Число тромбоцитов (PLT)	$313 * 10^9/л$	$150-320 * 10^9/л$
Средний объем тромбоцитов (MPV)	6,3 мкм ³	[Отсутствует]
Скорость оседания эритроцитов	11 мм/ч	0,5-4 мм/ч
Моноциты	5,2 %	0,5-4 %
Гранулоциты	41,5 %	51±3 %
Биллирубин общий	1,7 ммоль/л	0-1,67 ммоль/л
АЛТ	175,5 ед/л	110-140 ед/л
АСТ	76,4 ед/л	72-196 ед/л
Мочевина (UREA)	10,4 ммоль/л	8-14 ммоль/л
Креатинин (CR)	68,7 мкмоль/л	68-104 мкмоль/л
Глюкоза	1,8 ммоль/л	8,8-16,3 ммоль/л
Коэффициент де Ритиса	0,4 усл. ед.	[Отсутствует]

Таблица 2 - Основные показатели крови (вторая группа)

Показатель	Результат	Норма [170]
Число лейкоцитов (WBC)	3,7 * 10 ⁹ /л	5-23 * 10 ⁹ /л
Число лимфоцитов (LYM)	1,8 * 10 ⁹ /л	5-7 * 10 ⁹ /л
Число гранулоцитов (GRA)	2,4 * 10 ⁹ /л	2-9 * 10 ⁹ /л
Лимфоциты (LYM)	49,7 %	45±3 %
Число эритроцитов (RBC)	7,2 * 10 ¹² /л	7-10 * 10 ¹² /л
Концентрация гемоглобина (HGB)	129 г/л	120-180 г/л
Средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах (MCHC)	28,4 г/л	[Отсутствует]
Среднее содержание гемоглобина в эритроцитах (MCH)	17,8 * 10 ⁻¹² /г	[Отсутствует]
Средний объем эритроцитов (MCV)	62,8 мкм ³	[Отсутствует]
Ширина распределения эритроцитов по объему CV (RDW-CV)	12,5 %	[Отсутствует]
Гематокрит (HCT)	45,4 %	35-45 %
Число тромбоцитов (PLT)	336 * 10 ⁹ /л	150-320 * 10 ⁹ /л
Средний объем тромбоцитов (MPV)	6,8 мкм ³	[Отсутствует]
Скорость оседания эритроцитов	7 мм/ч	0,5-4 мм/ч
Моноциты	0,5 %	0,5-4 %
Гранулоциты	37,7 %	51±3 %
Биллирубин общий	2,1 ммоль/л	0-1,67 ммоль/л
АЛТ	197,6 ед/л	110-140 ед/л
АСТ	156,8 ед/л	72-196 ед/л
Мочевина (UREA)	7,5 ммоль/л	8-14 ммоль/л
Креатинин (CR)	72,7 мкмоль/л	68-104 мкмоль/л
Глюкоза	2,5 ммоль/л	8,8-16,3 ммоль/л
Коэффициент де Ритиса	0,4 усл. ед.	[Отсутствует]

Таблица 3 - Основные показатели крови (третья группа)

Показатель	Результат	Норма [170]
Число лейкоцитов (WBC)	$5 * 10^9/\text{л}$	$5-23 * 10^9/\text{л}$
Число лимфоцитов (LYM)	$5,2 * 10^9/\text{л}$	$5-7 * 10^9/\text{л}$
Число гранулоцитов (GRA)	$2,7 * 10^9/\text{л}$	$2-9 * 10^9/\text{л}$
Лимфоциты (LYM)	43,9 %	45±3 %
Число эритроцитов (RBC)	$7,3 * 10^{12}/\text{л}$	$7-10 * 10^{12}/\text{л}$
Концентрация гемоглобина (HGB)	123 г/л	120-180 г/л
Средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах (MCHC)	27,7 г/л	[Отсутствует]
Среднее содержание гемоглобина в эритроцитах (MCH)	$16,8 * 10^{-12}/\text{г}$	[Отсутствует]
Средний объем эритроцитов (MCV)	60,7 мкм ³	[Отсутствует]
Ширина распределения эритроцитов по объему CV (RDW-CV)	12,9 %	[Отсутствует]
Гематокрит (HCT)	44,3 %	35-45 %
Число тромбоцитов (PLT)	$305 * 10^9/\text{л}$	$150-320 * 10^9/\text{л}$
Средний объем тромбоцитов (MPV)	5,6 мкм ³	[Отсутствует]
Скорость оседания эритроцитов	4 мм/ч	0,5-4 мм/ч
Моноциты	1,4 %	0,5-4 %
Гранулоциты	54,8 %	51±3 %
Биллирубин общий	2,1 ммоль/л	0-1,67 ммоль/л
АЛТ	110 ед/л	110-140 ед/л
АСТ	180 ед/л	72-196 ед/л
Мочевина (UREA)	8,9 ммоль/л	8-14 ммоль/л
Креатинин (CR)	92,4 мкмоль/л	68-104 мкмоль/л
Глюкоза	8,7 ммоль/л	8,8-16,3 ммоль/л
Коэффициент де Ритиса	2,1 усл.ед.	[Отсутствует]

Таблица 4 - Основные показатели крови (четвертая группа)

Показатель	Результат	Норма [170]
Число лейкоцитов (WBC)	$5,5 * 10^9/\text{л}$	$5-23 * 10^9/\text{л}$
Число лимфоцитов (LYM)	$5,6 * 10^9/\text{л}$	$5-7 * 10^9/\text{л}$
Число гранулоцитов (GRA)	$2,5 * 10^9/\text{л}$	$2-9 * 10^9/\text{л}$
Лимфоциты (LYM)	46,4 %	45±3 %
Число эритроцитов (RBC)	$7,4 * 10^{12}/\text{л}$	$7-10 * 10^{12}/\text{л}$
Концентрация гемоглобина (HGB)	125 г/л	120-180 г/л
Средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах (MCHC)	28,1 г/л	[Отсутствует]
Среднее содержание гемоглобина в эритроцитах (MCH)	$15,5 * 10^{-12}/\text{г}$	[Отсутствует]
Средний объем эритроцитов (MCV)	55,4 мкм ³	[Отсутствует]
Ширина распределения эритроцитов по объему CV (RDW-CV)	13,8 %	[Отсутствует]
Гематокрит (HCT)	40,9 %	35-45 %
Число тромбоцитов (PLT)	$591 * 10^9/\text{л}$	$505\pm 11 * 10^9/\text{л}$
Средний объем тромбоцитов (MPV)	6,8 мкм ³	[Отсутствует]
Скорость оседания эритроцитов	3 мм/ч	0,5-4 мм/ч
Моноциты	2,4 %	0,5-4 %
Гранулоциты	45,2 %	51±3 %
Биллирубин общий	1,1 ммоль/л	0-1,67 ммоль/л
АЛТ	138,6 ед/л	110-140 ед/л
АСТ	128,1 ед/л	72-196 ед/л
Мочевина (UREA)	11,0 ммоль/л	8-14 ммоль/л
Креатинин (CR)	83,9 мкмоль/л	68-104 мкмоль/л
Глюкоза	9,3 ммоль/л	8,8-16,3 ммоль/л
Коэффициент де Ритиса	1,1 усл.ед.	[Отсутствует]

Результаты гистологических исследований лабораторных животных

Таблица 1 – Гистология органов контрольной группы животных

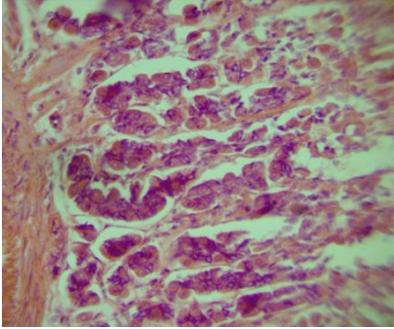
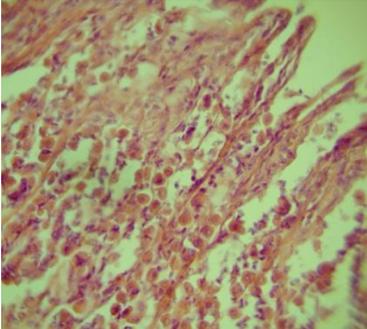
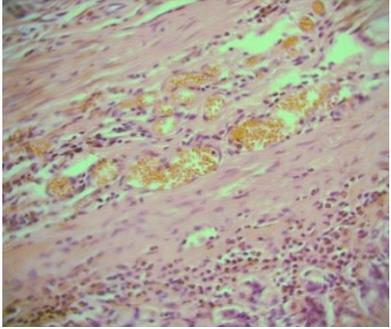
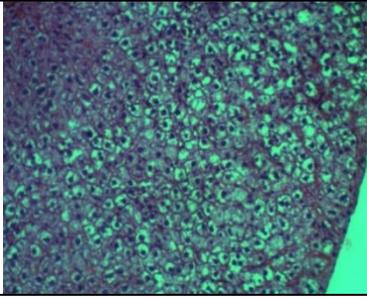
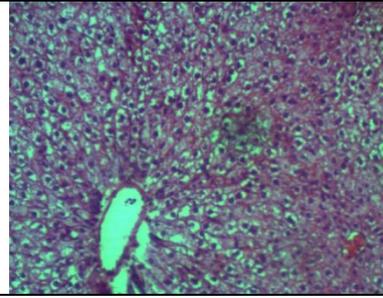
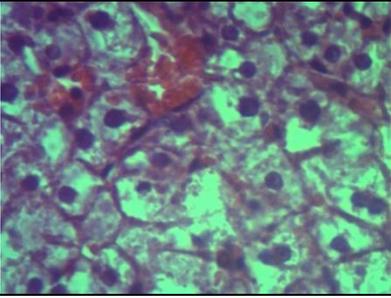
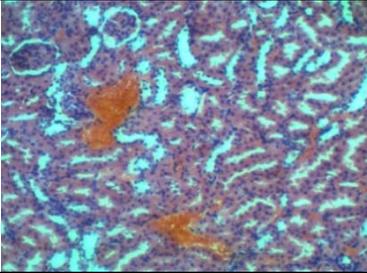
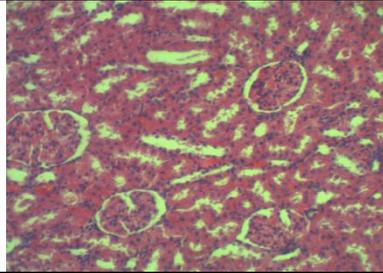
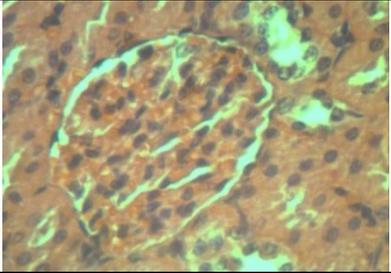
		
а	б	в
Архитектоника желудка крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 × об. 10 (а, б, в)		
		
а	б	в
Архитектоника печени крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 × об. 10(а, б) × об 40(в)		
		
а	б	в
Архитектоника почки крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 × об. 10(а,б) × об 40(в)		

Таблица 2 – Гистология органов второй группы животных

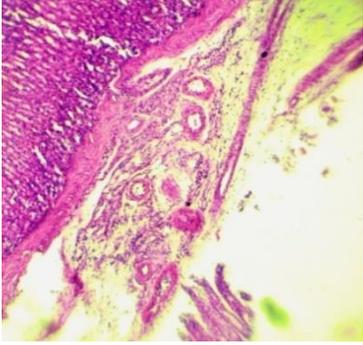
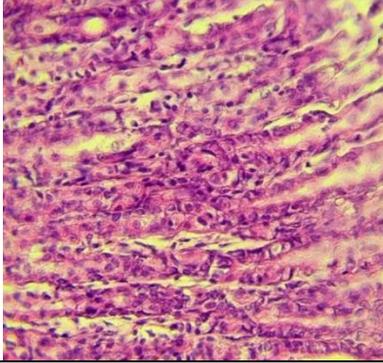
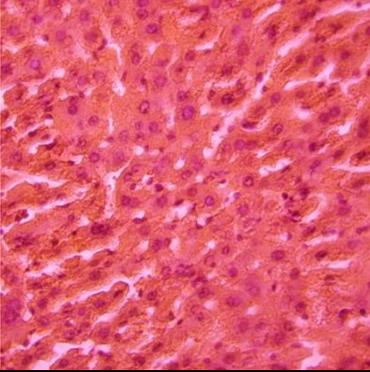
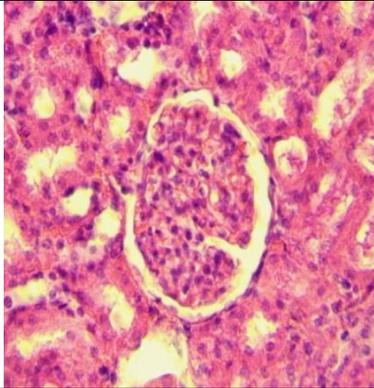
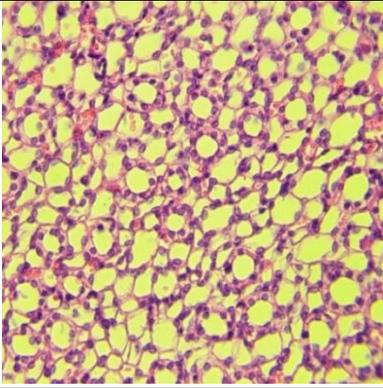
	
а	б
Архитектоника желудка крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 Ч об. 10(а), Ч об 40(б)	
	
Архитектоника печени крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 Ч об. 10(а)	
	
а	б
Структурная организация почки. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 Ч Об. 40 (а, б)	

Таблица 3 - Гистология органов третьей группы животных

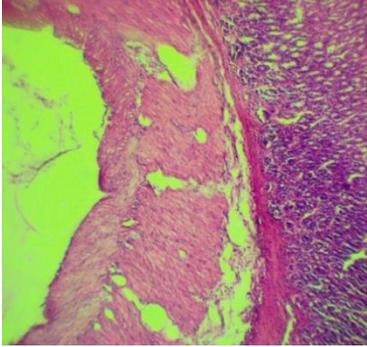
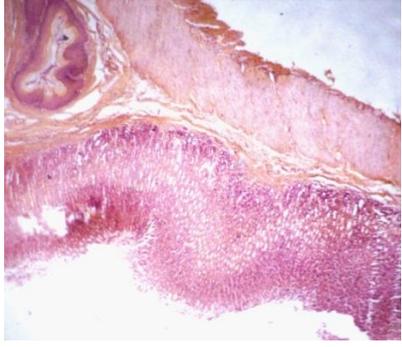
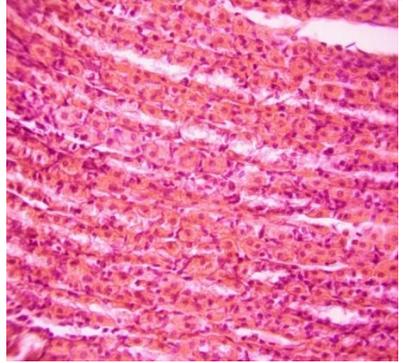
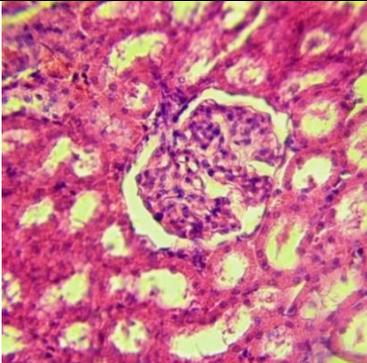
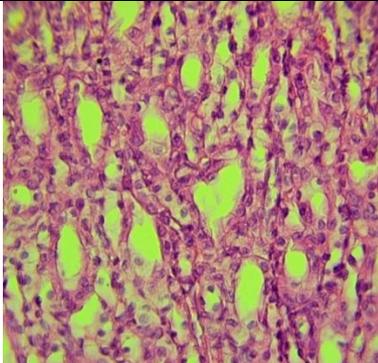
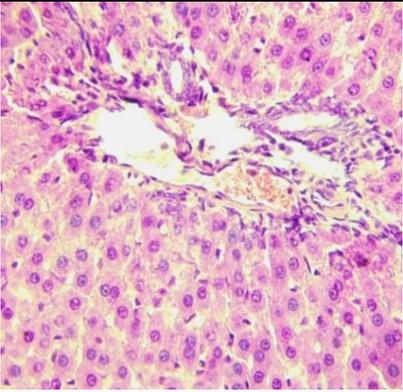
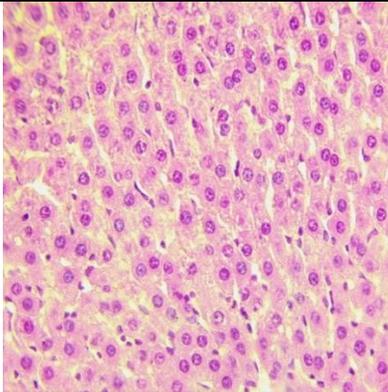
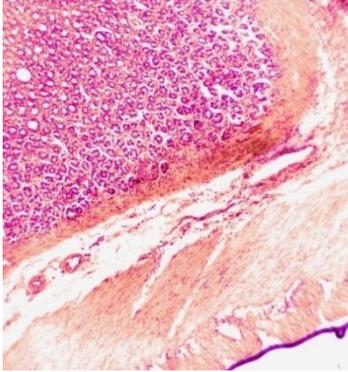
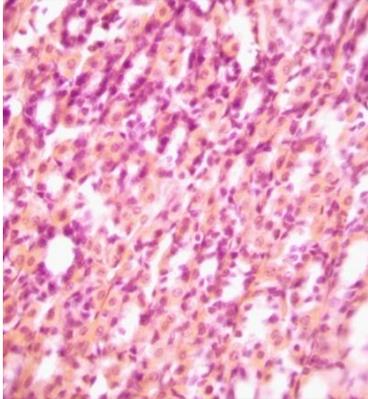
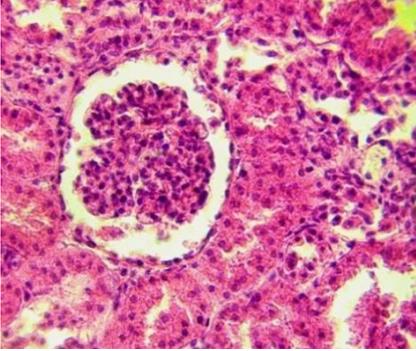
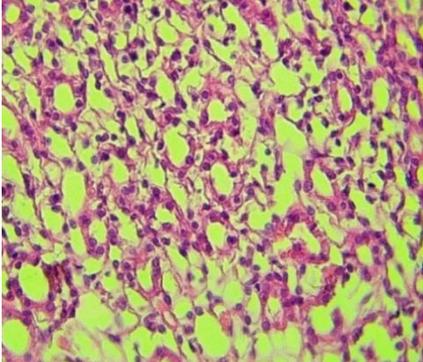
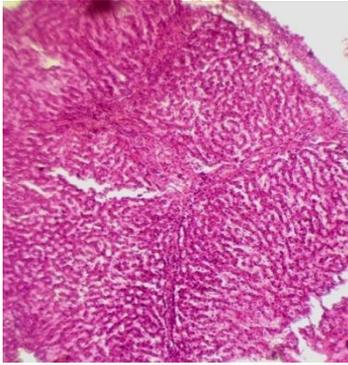
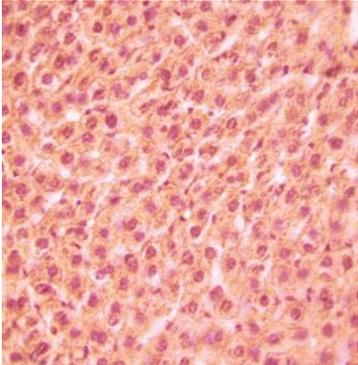
		
а	б	в
Архитектоника желудка крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 × об. 10(а,б) × об. 40(в)		
		
а	б	
Архитектоника почки крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 × об. 40(а) × об. 40(б)		
		
а	б	
Архитектоника печени крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 × об. 40(а,б)		

Таблица 4 - Гистология органов четвертой группы животных

	
а	б
<p>Архитектоника желудка крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 × об. 10(а) × об 40(б)</p>	
	
а	б
<p>Структурная организация почки крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 × об. 40(а, б)</p>	
	
а	б
<p>Архитектоника печени крыс. Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 × об. 10(а) × об 40(б)</p>	

Стандарт организации на муку из экструдата амаранта

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I

ОКПД 2 10.61.22.190

Группа Н 32
(ОКС 67.060)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
В.А. Гулевский
« 21 » 01 2020 г.

**МУКА ИЗ ЭКСТРУДАТА АМАРАНТА**

Стандарт организации
СТО 00492894-004-2020

Дата введения в действие – 01.04.2020 г

РАЗРАБОТАНОЗаведующая кафедрой товароведения и
экспертизы товаров, д.т.н., проф. Н.М. Дерканосова
аспирант кафедры А.А. Стахурловаг. Воронеж
2020 г.

Акт опытно-промышленных испытаний способа получения муки из экструдата амаранта

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
_____ для В.А. Гулевский
« 10 » _____ 02 документа 2020 г.



АКТ

опытно-промышленных испытаний способа получения муки из экструдата амаранта

Мы, нижеподписавшиеся, заведующая кафедрой товароведения и экспертизы товаров Дерканосова Н.М., профессор кафедры товароведения и экспертизы товаров Шеламова С.А., аспирант кафедры товароведения и экспертизы товаров Стахурлова А.А., директор учебно-научно-производственного комплекса «Агропереработка» ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ Жуков А.М. подтверждаем, что в условиях учебно-научно-производственного комплекса ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ были проведены опытно-промышленные испытания способа получения муки из экструдата амаранта.

Муку выработывали из экструдата зерна амаранта сорта Универсал, полученного на экструдере ЭУМ-1 на базе кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств Воронежского государственного университета инженерных технологий при следующих параметрах: температура - 110-120 °С, продолжительность 30-40 с, частота вращения основного шнека $38,2 \pm 2,0 \text{ с}^{-1}$, шнека-дозатора – $11,4 \pm 1,0 \text{ с}^{-1}$, диаметр выходного отверстия матрицы - 3 мм.

Размол производили на мельнице Sicom до крупности частиц 0,125 мм и менее.

Мука, полученная при размоле экструдата, имела характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики муки из экструдата амаранта

Показатель	Характеристика и значение
Цвет	Светло-кремовый
Запах	Свойственный муке из амаранта, ореховый, умеренно выраженный, без посторонних запахов
Вкус	Свойственный муке из амаранта, с легкой горчинкой, не кислый, без посторонних привкусов
Содержание минеральных примесей	Отсутствует
Зараженность и загрязненность вредителями хлебных запасов	Не обнаружено
Металломагнитная примесь (размер отдельных частиц в наибольшем линейном измерении 0,3 мм и/или масса не более 0,4 мг), мг на 1 кг муки	Не обнаружена
Влажность, %	7,0±0,2
Кислотность, град	3±0,1
Белки, г	27,5±0,8
Жир, г	4,5±0,2
Углеводы	60±2,0

Органолептические и физико-химические показатели качества муки из опытных проб соответствовали требованиям СТО 00492894-004-2020 Мука из экструдата амаранта.

Заключение

По результатам опытно-промышленных испытаний способ получения муки из экструдата может быть рекомендован к внедрению в производство.

Учебно-научно-производственный комплекс «Агропереработка»:

Директор



А.М. Жуков

Кафедра товароведения и экспертизы товаров:



Н.М. Дерканосова



С.А. Шеламова



А.А. Стахурлова

Приложение 10

Акт опытно-промышленных испытаний способа получения хлеба белого амарантового

УТВЕРЖДАЮ
 Проректор по научной работе
 ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
 _____ В.А. Гулевский
 «_06_» _____ 04 Для 2020 г.
 документов



АКТ опытно-промышленных испытаний способа получения хлеба белого амарантового

Мы, нижеподписавшиеся, заведующая кафедрой товароведения и экспертизы товаров Дерканосова Н.М., профессор кафедры товароведения и экспертизы товаров Шеламова С.А., аспирант кафедры товароведения и экспертизы товаров Стахурлова А.А., директор учебно-научно-производственного комплекса «Агропереработка» ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ Жуков А.М. подтверждаем, что в условиях пекарни учебно-научно-производственного комплекса ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ были проведены опытно-промышленные испытания способа производства хлеба белого амарантового с мукой из экструдата амаранта сорта Универсал.

Хлеб белый амарантовый готовили безопасным способом. Экструдированное зерно, полученное на экструдере ЭУМ-1 на базе кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств Воронежского государственного университета инженерных технологий (при следующих параметрах: температура - 110-120 °С, продолжительность 30-40 с, частота вращения основного шнека $38,2 \pm 2,0 \text{ с}^{-1}$, шнека-дозатора – $11,4 \pm 1,0 \text{ с}^{-1}$, диаметр выходного отверстия матрицы - 3 мм) измельчали в муку с размером частиц 0,125 мм и менее, смешивали с мукой пшеничной хлебопекарной первого сорта до получения однородной массы. Полученную смесь сухих компонентов соединяли с предварительно темперированной до 30 °С водой и дрожжевой суспензией. Дрожжевую

суспензию получали смешиванием прессованных дрожжей с водой, подогретой до температуры 30 °С.

Соотношения компонентов выдерживали в соответствии с рецептурой, представленной в таблице 1.

Таблица 1 - Производственная рецептура хлеба белого амарантового

Наименование сырья	Расход сырья, кг
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта	23,24
Мука из экструдата амаранта	4,76
Соль поваренная пищевая	0,36
Дрожжи хлебопекарные прессованные	0,42
Итого	28,78

Замешивали тесто, созревание теста осуществляли в течение 120 минут при температуре 30-32 °С. Затем формовали тестовые заготовки, помещали в формы и отправляли на расстойку в расстойную камеру на 30 минут при температуре 35 °С и относительной влажности воздуха 80-85%.

Выпечку осуществляли при температуре 180 °С в течение 35 минут в ротационной печи. Остывание хлеба проходило при температуре цеха - 20±2 °С. Определение показателей качества проводили через 24 часа после выпечки.

В результате проведенных испытаний получены пробы хлеба белого амарантового со следующими качественными характеристиками:

Таблица 2 – Характеристика показателей качества хлеба белого амарантового

Показатель	Характеристика
1	2
Внешний вид:	
форма	Соответствующая хлебной форме – прямоугольная
поверхность	Гладкая, без трещин и подрывов
цвет	Светло-кремовый
Состояние мякиша:	
пропеченность	Пропеченный, не влажный на ощупь
промес	Без следов непромеса
пористость	Развитая, равномерная
Вкус	Свойственный пшеничному хлебу, с легкой кислинкой и слабым привкусом жареных орехов

Продолжение табл. 2

1	2
Запах	Свойственный пшеничному хлебу, со слабым ореховым ароматом, приятный
Влажность мякиша, %	44,0±1,5
Кислотность мякиша, град	2,8±0,11
Пористость мякиша, %	68±2

Показатели качества опытных проб соответствовали требованиям СТО 00492894-005-2020 Хлеб белый амарантовый.

Заключение

По результатам опытно-промышленных испытаний способ производства хлеба белого амарантового может быть рекомендован к внедрению в производство.

Учебно-научно-производственный комплекс «Агропереработка»:

Директор



А.М. Жуков

Кафедра товароведения и экспертизы товаров:



Н.М. Дерканосова



С.А. Шеламова



А.А. Стахурлова

Хлеб белый амарантовый из смеси муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта светлоокрашенных сортов. Выпускается формовым, упакованным либо неупакованным. Влажность - $44 \pm 1,5\%$.

Таблица 1 – Производственная рецептура хлеба белого амарантового

Наименование сырья	Расход сырья, кг
Сука пшеничная хлебопекарная первого сорта	83,0
Мука из экструдата амаранта	17,0
Соль поваренная пищевая	1,3
Дрожжи хлебопекарные прессованные	1,5
Итого	102,8

Ориентировочный выход хлеба – 144,5 кг, поштучно (массой 500 г) – 289 шт.

Зав. кафедрой товароведения и экспертизы товаров

_____  Н.М. Дерканосова

Проф. кафедры товароведения и экспертизы товаров

_____  С.А. Шеламова

Аспирант кафедры товароведения и экспертизы товаров

_____  А.А. Стахурлова

Апробация результатов исследования



Диплом

I степени

вручается

Стахурловой Анастасии Александровне

студентке кафедры товароведения и экспертизы товаров
ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ им. императора Петра I»
за участие в VIII Всероссийском конкурсе
на лучшую студенческую научную работу
**«Актуальные проблемы развития торговли и пищевой
промышленности»**

**Тема работы: «Скрининг амаранта как обогащающего ингредиента
мучных изделий»**

Курск июнь 2017

Председатель комиссии
Всероссийского конкурса
Ректор ЮЗГУ



С.Г. Емельянов



ФГБОУ ВО ВОРОНЕЖСКИЙ ГАУ
ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I
ЭКСПОЦЕНТР ВГАУ



ДИПЛОМ

XI межрегиональной агропромышленной выставки

Агросезон – 2017

награждается
победитель конкурса инновационных проектов

Стахурлова А.А.

Кафедра Товароведения и экспертизы товаров

Факультет Технологии и товароведения ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ

за научно-практические разработки в области органической
основы производства сельхозпродукции и продуктов
питания высокого качества –
*«Скрининг амаранта как обогащающего ингредиента
мучных изделий»*

Директор Экспоцентра ВГАУ

Заместитель председателя Совета
ОД «Качество нашей жизни»,
профессор Академии геополитических проблем



К.А.Белозерцева

Н.Д.Козлов

г. Воронеж - 2017



ДЕПАРТАМЕНТ АГРАРНОЙ ПОЛИТИКИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ



ФГБОУ ВО ВОРОНЕЖСКИЙ ГАУ
ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I

ЭКСПОЦЕНТР ВГАУ



ДИПЛОМ

участника

XII-ой АГРОПРОМЫШЛЕННОЙ ВЫСТАВКИ

 **АГРОСЕЗОН 2018**

награждается

группа участников конкурса инновационных проектов

Кафедра товароведения и экспертизы товаров

Дерканосова Н.М.,

Стахурлова А.А.

Экструдат амаранта и мука из экструдата амаранта

**за основополагающий вклад в реализацию
комплексных предложений
и практических решений задач
агропромышленного комплекса России**

Директор Экспоцентра ВГАУ



К. А. Белозерцева

21 - 22 марта 2018 г.
г. Воронеж



AgroSym



CERTIFICATE

is awarded to

Anastasiia STAKHURLOVA

for the paper presentation entitled

**RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF FLOUR
MIXTURES WITH AMARANTH EXTRUDATE**

within the IX International Scientific Agriculture Symposium
"AGROSYM 2018"

that has been held from 04th to 07th October 2018 on
Jahorina mountain, Bosnia and Herzegovina

Please consider this certificate as an official document to facilitate any procedures related to your professional career.

Academician Dusan Kovacevic
President of Scientific Committee

Dusan Kovacevic

Prof. dr Vesna Milic
President of Organization Committee

Vesna Milic



ФГБОУ ВО ВОРОНЕЖСКИЙ ГАУ
им. императора Петра I

ЭКСПОЦЕНТР ВГАУ



ДИПЛОМ

участника XXIII-й межрегиональной
агропромышленной выставки
«ВОРОНЕЖАГРО – 2018»

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ

награждается
победитель конкурса инновационных проектов

**Дерканосова Н.М.,
Пономарева И.Н., Стахурлова А.А.**

Факультет технологии и товароведения ВГАУ им. императора Петра I
за проект «Экструдат амаранта и мука из экструдата»

Директор Экспоцентра ВГАУ



К.А.Белозерцева

14 – 15 ноября

г. Воронеж - 2018



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I»

ДИПЛОМ

награждается

Стахурлова

Анастасия Александровна

аспирант факультета технологии и товароведения,

занившая

I место

*в ежегодном внутривузовском конкурсе
на лучшую научную работу молодых ученых
номинация «Магистранты и аспиранты»*

Ректор
25 апреля 2019 г.



Бухтояров Н.И.



CERTIFICATE

is awarded to

Anastasiia STAKHURLOVA

for the oral paper presentation entitled

**AMARANTH GRAIN AS ENRICHING INGREDIENT FOR
BAKERY TECHNOLOGY**

within the X International Scientific Agriculture Symposium
"AGROSYM 2019"

that has been held from 03rd to 06th October 2019 on
Jahorina mountain, Bosnia and Herzegovina

Please consider this certificate as an official document to facilitate any procedures related to your professional career.

Academician Dusan Kovacevic
President of Scientific Committee

Dusan Kovacevic

Prof. dr Vesna Milic
President of Organization Committee

Vesna Milic



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I»



ЭКСПОЦЕНТР ВГАУ

АГРОСЕЗОН



AGROSEASON

XIV АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ
ВЫСТАВКА **2020**
XIV AGRICULTURAL
EXHIBITION

ДИПЛОМ

награждается золотой медью

Стахурлова Анастасия Александровна

аспирант 4 года обучения кафедры товароведения и экспертизы товаров

Дерканосова Наталья Митрофановна проф., д.т.н.

Пономарева Ирина Николаевна

ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

за рецептуру «Хлеб с мукой из экстракта амаранта»



РЕКТОР ФГБОУ ВО
ВОРОНЕЖСКИЙ ГАУ

Н.И. БУХТОЯРОВ

ВОРОНЕЖ
12-13 марта 2020