

На правах рукописи



Алёхина Надежда Николаевна

**ЗЕРНОВОЙ ХЛЕБ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОГО СТАТУСА
НАСЕЛЕНИЯ: БИОАКТИВАЦИЯ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР,
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ СЫРЬЯ, РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ
И РАСШИРЕНИЕ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ**

05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки
злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов,
плодоовощной продукции и виноградарства»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

Воронеж – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Пономарева Елена Ивановна
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»)

Официальные оппоненты: Росляков Юрий Федорович
доктор технических наук, профессор
(ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», профессор)

Романов Александр Сергеевич
доктор технических наук, профессор
(ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», профессор)

Курочкин Анатолий Алексеевич
доктор технических наук, профессор
(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», профессор)

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева»

Защита состоится «19» мая 2020 г. в 13 ч 30 мин. на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.04 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ») по адресу: 394036, г. Воронеж, пр-т Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять в адрес диссертационного совета Д 212.035.04.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен в сети «Интернет» на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» www.vsu.ru «25» декабря 2019 г.

Автореферат размещен в сети «Интернет» на официальном сайте Министерства науки и высшего образования РФ по адресу: www.vak2.minobrnauki.gov.ru и на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» www.vsu.ru «12» февраля 2020 г., разослан «10» апреля 2020 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук
Д 212.035.04, к.т.н., доцент



Е. В. Белокурова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В соответствии с правительственными документами («Концепция обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения путем развития функционального и специализированного хлебопечения в РФ до 2020 г. (Хлеб - это здоровье)», «Стратегия повышения качества пищевой продукции в РФ до 2030 г.»), а также постановлением президиума РАН «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки» важнейшей стратегической задачей является коррекция пищевого статуса и снижение смертности населения, заболеваемости социально значимыми неинфекционными болезнями алиментарным путем. Для предупреждения распространения алиментарно-зависимых заболеваний разрабатываются продукты питания, в том числе хлебобулочные профилактической и лечебной направленности, способствующие увеличению продолжительности и повышению качества жизни населения.

При этом особый интерес представляет хлеб с применением цельных зерновых культур, что позволяет повысить его пищевую, биологическую ценность, сэкономить основные ресурсы хлебопекарного производства. Однако такие изделия отличаются высоким содержанием фитиновой кислоты и ее солей, которые образуют комплексы с минеральными веществами (кальций, фосфор, магний, железо и цинк), препятствуя их усвоению. Учитывая высокий потребительский спрос на эти изделия, микроэлементозы среди населения возымели значительную распространенность, что обостряет проблемы сердечно-сосудистой системы, пищеварения, формирования и функциональности твердых тканей человека.

В настоящее время согласно «Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности РФ до 2020 г.» на предприятиях пищевой промышленности наблюдается высокая доля перерабатываемых побочных продуктов. Поэтому привлечение нетрадиционных видов сырья за счет вторичных продуктов мукомольно-крупяной отрасли позволит дополнительно обогатить хлебобулочные изделия биологически активными веществами и обеспечить ресурсосбережение.

Таким образом, создание новой ассортиментной линейки хлеба для коррекции пищевого статуса организма с использованием злаковых культур с пониженным содержанием фитина и побочных продуктов переработки зерна имеет важное социально-экономическое значение и является весьма **актуальной проблемой** для пищевой промышленности РФ.

Диссертационная работа выполнена в рамках госбюджетной НИР кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зер-

ноперерабатывающего производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по теме «Разработка энерго-, ресурсосберегающих и экологически чистых технологий переработки сельхозсырья в конкурентоспособные хлебобулочные, кондитерские, макаронные, зерновые и крупяные продукты на основе медико-биологических воззрений» (№ г. р. 01201253868, на 2011-2016 гг.); федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» по теме «Разработка функциональных пищевых продуктов для безглютенового и геродиетического питания, в том числе для профилактики остеопороза» (соглашение № 14.577.21.0256 от 26.09.2017 г.).

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в разработку научных и практических основ производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности, в том числе зернового хлеба, внесли Антонов В. М., Ауэрман Л. Я., Дерканосова Н. М., Донченко Л. В., Дробот В. И., Ильина О. А., Конева С. И., Корячкина С. Я., Косован А. П., Кретович В. Л., Курочкин А. А., Лабутина Н. В., Магомедов Г. О., Матвеева И. В., Новикова А. Н., Патт В. А., Пашенко Л. П., Покровский А. А., Поландова Р. Д., Пономарева Е. И., Пучкова Л. И., Романов А. С., Росляков Ю. Ф., Санина Т. В., Тертыхная Т. Н., Тутельян В. А., Цыганова Т. Б., Черных В. Я, Шатнюк Л. Н., Щербатенко В. В., Huttner Edith K., Khalid K. H., Muhlhauser H., Plasch G., Rosell C. M., Sanz Penella J. M., Sidhu J. S. и др.

Обобщение имеющейся информации позволяет судить о том, что биоактивация (набухание, проращивание) зерна, ферментация, применение подкислителей является мощным фактором снижения фитиновой кислоты и ее солей, а следовательно, регулирования количества биологически активных веществ в изделиях. Однако в представленных сведениях отсутствуют данные о возможности снижения содержания фитина, изменении элементного состава в технологии зернового хлеба из злаковых культур, мало изучено влияние биоактивации на биодоступность его минеральных веществ. В связи с этим сохраняется необходимость разработки способов снижения фитина в злаковых культурах и применения их в производстве зернового хлеба, основанных одновременно на принципах обеспечения повышения пищевой ценности изделий и ресурсосбережения за счет модификации рецептурно-компонентных решений и в целом технологического процесса.

Цель работы - научно-практическое обоснование биоактивации злаковых культур для снижения содержания фитина, получение новых полуфабрикатов, разработка технологий с применением вторичных ресур-

сов мукомольной промышленности и расширение ассортимента зернового хлеба, отвечающего современным требованиям здорового питания.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести патентно-информационный поиск в области производства хлебобулочных изделий профилактической и лечебной направленности;

- научно обосновать гидролиз фитина под действием эндогенной фитазы зерна и определить изменение ее активности при биоактивации пшеницы и ржи;

- обосновать выбор биоактивированных злаковых культур как сырьевого источника в технологии зернового хлеба, определить параметры их подготовки;

- изучить элементный состав и изменение содержания фитина в процессе биоактивации зерна пшеницы, ржи и на технологических стадиях приготовления хлеба;

- оценить влияние способов подготовки зерна на биодоступность минеральных веществ в хлебе и окислительно-антиокислительный статус организма в эксперименте *in vivo* путем доклинических исследований;

- экспериментально обосновать параметры и режимы приготовления полуфабрикатов из биоактивированных злаковых культур для увеличения их сроков хранения и обеспечения стабильного качества зернового хлеба;

- провести моделирование и оптимизацию параметров сушки, охлаждения, замораживания полуфабрикатов, их реологических свойств;

- произвести обоснованный выбор побочных продуктов мукомольной промышленности в качестве обогатителей и разработать рецептурно-компонентные решения приготовления хлебобулочных изделий с их применением;

- исследовать органолептические, физико-химические, структурно-механические, физико-механические, теплофизические, гидратационные, функциональные свойства, показатели безопасности, микроструктуру предлагаемых полуфабрикатов и изделий на их основе, в том числе при хранении;

- определить биотехнологический потенциал новых видов хлеба и разработать балловую шкалу для оценки качества хлебобулочных изделий из биоактивированного зерна;

- провести медико-клинические испытания зернового хлеба для определения изменений эффективности показателей гемодинамики, липидного спектра плазмы крови при включении продукта в рацион питания лиц, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями;

- разработать техническую документацию на полуфабрикаты и новую ассортиментную линейку зернового хлеба для коррекции пище-

вого статуса населения, апробировать технологии хлебобулочных изделий в производственных условиях, внедрить в промышленность, учебный процесс, оценить экономический эффект от реализации предлагаемых технологических решений.

Научная концепция исследования состоит в разработке научно-практических основ получения полуфабрикатов и хлебобулочных изделий из биоактивированных злаковых культур с пониженным содержанием фитина для предупреждения распространения алиментарно-зависимых заболеваний.

Научная новизна. Сформулирована научная концепция, обоснованы принципы разработки новых технологий и рецептур зернового хлеба с пониженным содержанием фитина для профилактики алиментарно-зависимых заболеваний за счет использования биоактивированных злаковых культур и вторичных продуктов мукомольной промышленности.

Обобщены информационные сведения и представлена последовательность процесса расщепления фитина в зерновке злаковых культур при их биоактивации под действием эндогенной фитазы в целях снижения антинутриента в готовых изделиях. Впервые в эксперименте *in vitro* доказано снижение содержания фитина на разных стадиях приготовления хлеба на основе биоактивированных злаковых культур. Путем применения рентгеновского энергодисперсионного анализа и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой установлено увеличение содержания кальция, магния, фосфора, железа, цинка в процессе биоактивации зерна пшеницы и ржи.

Впервые в эксперименте *in vivo* доказано повышение усвояемости минеральных веществ и активация антиоксидантной системы организма лабораторных животных при употреблении хлеба с использованием биоактивированного зерна пшеницы.

Экспериментально определена эффективность использования вторичных продуктов мукомольной промышленности (мука из жмыха зародышей пшеницы, отрубей гречишных), содержащих биологически активные вещества, в производстве зернового хлеба для профилактики неинфекционных заболеваний населения.

Методом электронной сканирующей микроскопии установлена микроструктура подкисленного зерна ржи, выполнено топографическое картирование распределения макроэлементов по поперечному разрезу зерна пшеницы (нативного, набухшего, пророщенного) и ржи (нативного, набухшего), теста и хлеба, приготовленных по новым разработанным технологиям, что позволяет прогнозировать их качество.

Обоснована целесообразность получения подкисленного зерна ржи с минимальным значением предела прочности его оболочечных

частиц за счет выдерживания в культуральной среде с молочнокислыми бактериями *L. plantarum*, густой закваски стабильного качества путем применения хмелепродуктов, сухой закваски, хлебопекарных смесей, замороженных полуфабрикатов на основе биоактивированных злаковых культур. Выявленные закономерности изменения органолептических, физико-химических и микробиологических показателей качества, биотехнологического потенциала зернового хлеба в зависимости от дозировки рецептурных компонентов, а также способы приготовления и оптимизация рецептурно-технологических факторов обеспечивают высокое качество изделий из биоактивированных злаковых культур и увеличение их срока годности.

Анализ результатов исследований перевариваемости белков мякиша зернового хлеба с помощью тест-культуры *Paramecia caudatum* доказал повышение значения данного показателя в изделиях, приготовленных на основе замороженных полуфабрикатов.

Формализация исследуемых параметров и режимов получения полуфабрикатов, их математическая обработка позволила выбрать рациональные условия приготовления и прогнозировать их качество.

Проведенные клинические исследования хлеба из биоактивированного зерна пшеницы позволяют рекомендовать его для включения в рацион питания в целях профилактики атеросклероза и ассоциированных с ним заболеваний сердечно-сосудистой системы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в обосновании способов снижения содержания фитина в изделиях из целого зерна за счет биоактивации злаковых культур, применения заквасок, подкислителей и в развитии основ создания новых видов зернового хлеба повышенной пищевой ценности с использованием вторичного сырья мукомольной промышленности (мука из жмыха зародышей пшеницы, отрубей гречишных).

Полученные зависимости и закономерности позволили сформировать новые знания, используемые в учебном процессе при реализации дисциплин для подготовки бакалавров и магистров по направлению 19.03.02 и 19.04.02 (Продукты питания из растительного сырья), при выполнении обучающимися курсовых работ (проектов), выпускных квалификационных работ.

Разработана технология получения подкисленного зерна ржи, густых и сухих заквасок, хлебопекарных смесей, замороженных полуфабрикатов путем применения биоактивированных злаковых культур.

Предлагаемые ресурсосберегающие технологии хлебобулочных изделий позволят рационально использовать сырьевую базу АПК, повысить эффективность технологического процесса, обеспечить повы-

шение пищевой ценности зернового хлеба, придать ему функциональные свойства, увеличить срок сохранения свежести.

Получены новые экспериментальные данные, свидетельствующие об эффективности применения биоактивированных злаковых культур в технологии хлебобулочных изделий за счет снижения содержания фитина в них, повышения биодоступности минеральных веществ, что способствует активации антиоксидантной системы организма и улучшению показателей липидного спектра плазмы крови.

Разработана балловая шкала оценки органолептических показателей, учитывающая особенности хлебобулочных изделий с применением биоактивированных злаковых культур, и позволяющая оперативно охарактеризовать качество зернового хлеба.

Проведена промышленная апробация предлагаемых технологий в условиях АО «Хлебозавод № 7» (г. Воронеж), ООО «ЭкоХлеб» (г. Воронеж), ИП «Шаганова О. В.» (г. Воронеж), учебного научно-производственного комплекса ВГУИТ, подтвердившая положительные результаты исследований, и освоен промышленный выпуск зернового хлеба на ИП «Шаганова О. В.», ООО «Пекарня № 1» (г. Воронеж).

Новизна предлагаемых технических решений подтверждена 16 патентами РФ на изобретения. Разработано и утверждено 16 пакетов технической документации на новые полуфабрикаты и изделия.

Методология и методы исследований. Исследования проводили согласно методологии, основой которой является комплекс методов познания: теоретических, эмпирических, практических, базирующихся на естественно-научных закономерностях. В работе применяли общепринятые и специальные современные физические, химические, биохимические, микробиологические и органолептические методы анализа сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.

Научные положения, выносимые на защиту:

- закономерности изменения элементного состава и функционально-технологических свойств зерна пшеницы, ржи в процессе его биоактивации;

- результаты исследований по снижению содержания фитина в процессе гидролиза под действием эндогенной фитазы зерна при его биоактивации, применении заквасок и подкислителей;

- условия получения и стабилизации качества зернового хлеба за счет применения биоактивированных злаковых культур и вторичных продуктов мукомольной промышленности с высоким биопотенциалом;

- технологические решения по определению оптимальных условий приготовления полуфабрикатов, рецептурного состава зерновых

хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности для лечебного питания и профилактики алиментарно-зависимых заболеваний;

- оценка возможности использования новых хлебобулочных изделий для усиления пищевого статуса человека.

Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности. Диссертационное исследование соответствует п. 2, 3, 4, 6, 7 паспорта научной специальности 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодовоовощной продукции и виноградарства».

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных методов анализа и приборов, серией опытов и математической обработкой результатов экспериментов, апробацией исследований в промышленности и научной общественности, доклинической и медико-клинической оценкой зернового хлеба.

Основные положения диссертационной работы представлены на 88 всероссийских и международных научных, научно-практических, научно-технических, научно-методических конференциях, симпозиумах и форумах разного уровня: Воронеж, 2007-2019; Москва, 2011, 2012, 2014; Краснодар, 2011, 2012, 2015, 2016; Пятигорск, 2012; Прага, 2012, 2014; Новосибирск, 2013-2015; Курск, 2013-2017; Казань, 2013; Йошкар-Ола, 2012, 2014-2017; Бийск, 2011-2014, 2016; Махачкала, 2010, 2014; Кемерово, 2014; Саратов, 2015-2016; Харьков, 2015; Орел, 2014-2015, 2017; Ставрополь, 2016; Екатеринбург, 2014-2017; Иркутск, 2015; Уфа, 2017; Munich, 2015; London, 2016.

Результаты работы экспонировались на 62 выставках, форумах, конгрессах, конкурсах («ECOTROPHELIA EUROPE 2013» (Волгоград, 2013), «Современные технологии в производстве хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий» (Челябинск, 2014), «Продовольственная безопасность» (Екатеринбург, 2015), «Лучшая научно-исследовательская работа» (Москва, 2015, 2016) и отмечены дипломами, золотыми медалями и сертификатами.

Личное участие автора. Диссертационная работа является обобщением научных исследований, проведенных в 2007-2019 гг. лично автором и при его непосредственном участии в качестве руководителя или ответственного исполнителя госбюджетных научно-исследовательских работ и прикладных научных исследований и экспериментальных разработок.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 196 научных работ, в т. ч. 2 монографии, 4 учебных пособия (2 из них с грифом УМО), 24 статьи в журналах, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки РФ для публикации результатов диссертационных исследований, 4 статьи,

входящие в международную базу данных Scopus, 146 статей в журналах и по материалам докладов на всероссийских и международных конференциях, 16 патентов РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 442 страницах компьютерного текста и содержит 193 рисунка и 81 таблицу. Список литературы включает 413 наименований, в том числе 63 иностранных источника. Приложения к диссертации представлены на 156 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Дано обоснование актуальности темы исследования и проанализирована степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна и практическая значимость результатов работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1. Научная проблема разработки технологий хлебобулочных изделий для повышения пищевого статуса населения. Проанализировано современное состояние и тенденции развития ассортимента хлебобулочных изделий. Обобщены сведения по разработке хлеба для лечебного, профилактического питания и повышению его микробиологической чистоты. Систематизированы данные о биотрансформации веществ при набухании и прорастании зерна. Акцентировано внимание на содержании фитиновой кислоты, ее солей в зерновых культурах, дан критический анализ информации по повышенному содержанию указанных антиалиментарных веществ в продуктах питания и охарактеризованы способы их снижения. Дана оценка особенностей технологии хлеба, в том числе с применением зерновых культур, при различных способах консервирования полуфабрикатов хлебопекарного производства.

Глава 2. Организация эксперимента, объекты и методы исследований. Представлена структура организации эксперимента (рисунок 1), приведена характеристика объектов, методов исследований в соответствии с целью и задачами диссертационной работы.

Экспериментальные исследования проводили в соответствии с поставленными задачами на кафедрах ВГУИТ: технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, технологии продуктов животного происхождения, биохимии и биотехнологии, химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, физической и аналитической химии;

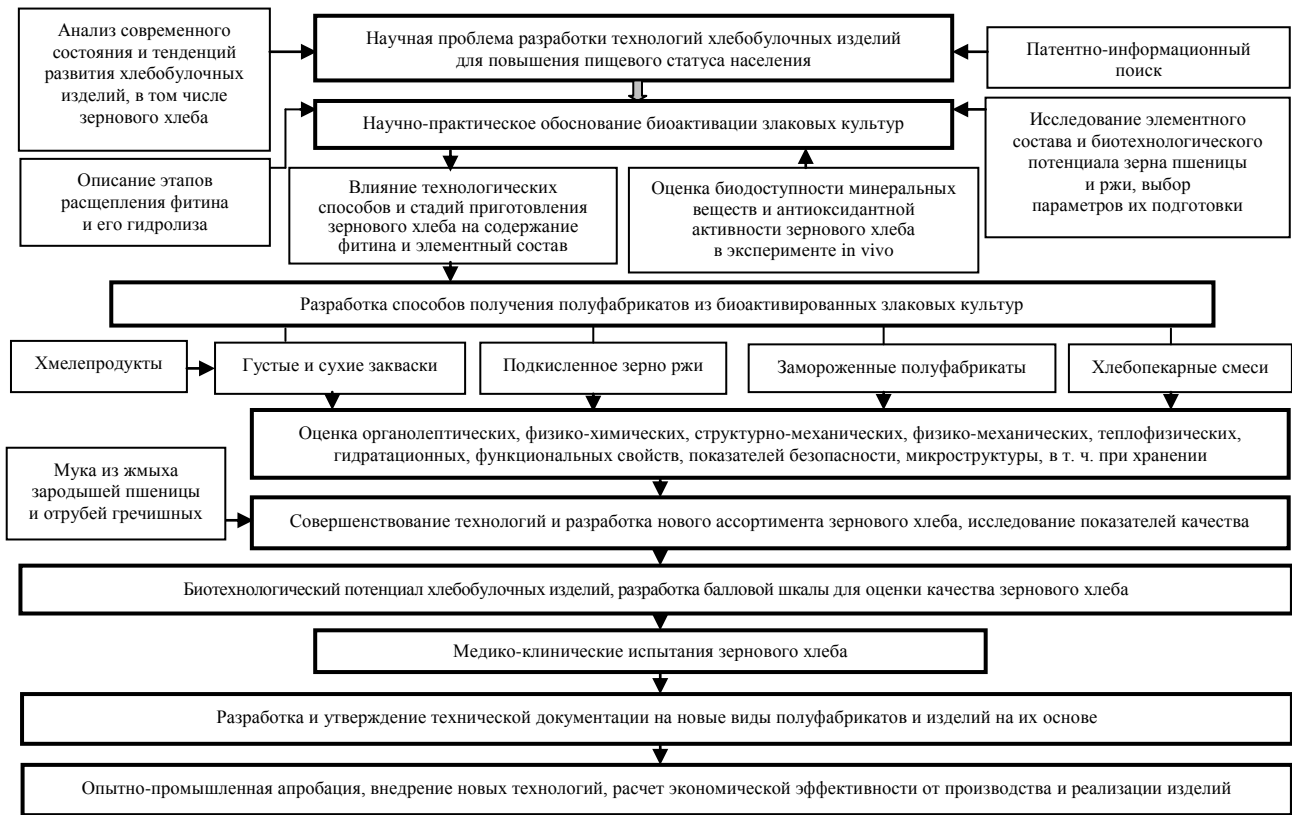


Рисунок 1 - Структурная схема проведения исследований

в центре коллективного пользования «Контроль и управление энергоэффективных проектов» ВГУИТ, центре коллективного пользования научным оборудованием Воронежского государственного университета, испытательном лабораторном центре АНО «НТЦ» Комбикорм» (г. Воронеж), ООО «Биоактуаль» (с. Новая Усмань, Воронежская область), испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», ООО «Зеленые технологии» (г. Красногорск), ООО «Микронутриенты» (г. Москва), испытательной лаборатории «Академтест» (г. Воронеж), испытательной лаборатории ООО «Моллаб» (г. Воронеж), в условиях филиала кафедры ТХКМЗП на АО «Хлебозавод № 7» (г. Воронеж), в лаборатории ООО «Воронежские дрожжи» (г. Воронеж).

Клинические исследования хлеба, полученного из биоактивированного зерна пшеницы, проводили совместно с кафедрой «Гигиенические дисциплины» Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко в ООО «Клинический санаторий имени Горького» (г. Воронеж).

Опытно-промышленную апробацию новых технологий осуществляли в условиях производства: АО «Хлебозавод № 7» (г. Воронеж), АО «ЭкоХлеб» (г. Воронеж), ИП «Шаганова О. В.» (г. Воронеж) и учебного научно-производственного комплекса ВГУИТ.

Объектами исследований служили: семь образцов пшеницы 3-го класса (ГОСТ 9353-2016), пять образцов ржи 1-го класса (ГОСТ 16990-2017), муки пшеничной хлебопекарной первого сорта (ГОСТ 9353-2016), муки ржаной хлебопекарной обдирной (ГОСТ 7045-2017); зерно ржи «Сафткорн» (Германия, DIN ISO 9001), мука из жмыха зародышей пшеницы (ТУ 9293-010-05079029-00), мука из отрубей гречишных (ТУ 9293-293-02068108-2014), дрожжи хлебопекарные прессованные (ГОСТ Р 54731-2011), соль пищевая (ГОСТ Р 51574-2018), хмелевая композиция «Ингредиент КХ» (ТУ 9199-001-47418712-02), кислота аскорбиновая (ФС 42-2668-95), масло подсолнечное (ГОСТ 1129-2013), сыворотка молочная натуральная (ТУ 9229-110-0461-0209-2002), сыворотка молочная сухая подсырная (ГОСТ 33958-2016), сухая пшеничная клейковина (ГОСТ 31934-2012), кислота лимонная (ГОСТ 908-2004), шишки хмеля (ГОСТ 21946-76), ферментный препарат на основе фитазы F 4.2 В (производитель *Penicillium canescens*, ИБФМ РАН), сухая закваска «Вайцензауер» (IREKS GmbH, Германия, свидетельство о государственной регистрации RU.77.99.88.009.E.049515.12.11), бульон MRS для лактобактерий (производство HiMedia, Индия, рег. уд. № РК-МТ-5 № 005213), лиофилизированные лактобактерии (*L. plantarum*), вода питьевая (СанПиН 2.1.4.1074-01). Все сырье, применяемое в исследованиях, по органолептическим и физико-химическим показателям соответствовало требованиям

показателей безопасности – ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 029/2012. При проведении доклинических исследований объектами исследований являлись образцы зернового хлеба, подсушенные до влажности 8,5-9,0 %.

В работе применяли стандартные, общепринятые и специальные методы исследований. Для определения органических кислот в подкисленном зерне, закваске использовали хроматограф Series 200; состава подкисленного зерна - прибор Vertex 70 с приставкой Platinum ATR; идентификации и видового типирования микрофлоры - масс-спектрометр Microflex с системой MALDI-TOF; предела прочности зерна – специально сконструированную установку на кафедре ТХКМЗП «ВГУИТ» (в условиях одноосного сжатия между двумя параллельными пластинами); аромата сырья, полуфабрикатов и готовых изделий - анализатор запахов «МАГ-8» с методологией «электронный нос»; содержания мертвых клеток в полуфабрикате – микроскоп Микромед Р-1; структурно-механических свойств теста – вискозиметр «Реотест-2» и РВ-8м; объема выделенного при брожении теста диоксида углерода – ризограф National; активности воды в полуфабрикатах, изделиях - портативный гигрометр RotronicHigroPalm HP23-AW-Set; структурно-механических свойств мякиша - пенетрометр АП-4/2 и реометрический информационно-измерительный комплекс, разработанный на кафедре ТХКМЗП «ВГУИТ»; антиоксидантной активности зерна, хлеба - прибор ЦветЯуза-01-АА; цветовых характеристик сырья, изделий - планшетный сканер HP ScanJet 3570C с применением компьютерной обработки изображений в цветовом режиме RGB; микроструктуры зерна, теста, хлеба, их элементного состава и топографического картирования - электронный сканирующий микроскоп JSM-6380 LV, оснащенный системой рентгеновского энергодисперсионного анализа INCAx-sight и квадрупольный масс-спектрометр Nexion 300D; фитина - спектрофотометр ПЭ-5400 УФ; значения водородного показателя (рН) - рН-150М; перевариваемости белков хлеба - метод *in vitro* под действием пищеварительных ферментов (пепсин, трипсин) и *in vivo* (на инфузориях *Paramecium caudatum*); уровня глюкозы в крови - глюкометр системы «Contour TS» (по методологии, описанной организацией ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства «Углеводы в питании человека»). Электроактивированный водный раствор получали на установке «АП-1». Доклинические исследования зернового хлеба проводили на белых инбредных мышах линии BALB/c, клинические – при участии 36 добровольцев путем применения биохимических, клинических и статистических методов.

Аминокислотный состав зерна, муки, хлебопекарной смеси, хлеба определяли на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20 Prominence по ГОСТ 32195-2013 (триптофан – по ГОСТ 32201-2013), белок – по ГОСТ

Р 53951-2010, жир – по ГОСТ 5668-68, водорастворимые углеводы – по ГОСТ Р 51636-2000, крахмал - по ГОСТ 10845-98, пищевые волокна – по ГОСТ Р 54014-2010, клетчатку – по ГОСТ 31675-2012, витаминный состав – по ГОСТ 29138-91, 29139-91, 32043-2012, минеральный состав – по ГОСТ 32343-2013, 26657-97, 26570-85, золу – по ГОСТ Р 51411-99. Активность фитазы в зерне определяли по ГОСТ Р ИСО 30024-2012.

Микрофлору зерна, хлебопекарной смеси и хлеба анализировали по количеству мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) (ГОСТ 10444.15-94), наличию дрожжей, плесневых грибов (ГОСТ 10444.12-2013), протeya (ГОСТ 28560-90), БГКП (колиформы) (ГОСТ 31747-2012); наличие в густых заквасках патогенных микроорганизмов - по ГОСТ 31659-2012. Содержание кадмия и свинца определяли на анализаторе вольтамперометрическом ТА-4 по ГОСТ 33824-2016, ртути - по ГОСТ Р 56931-2016, мышьяка - по ГОСТ 31628-2012.

В работе применяли центральное композиционное ротатабельное униформпланирование. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по критерию Стьюдента, Кохрена и Фишера при доверительной вероятности 95 %. Экспериментальные исследования осуществляли в трехкратной повторности. Построение графиков по результатам статистической обработки проводили в программах «STATISTIKA», «MS Excel». Технично-экономические показатели рассчитывали по методикам определения экономической эффективности в хлебопекарной отрасли.

Глава 3. Научно-практическое обоснование снижения фитиновой кислоты и ее солей в технологии зернового хлеба. На основе исследований Кретовича В. Л., Казакова Е. Д., Козьминой Н. П., Булгакова Н. И., Братерского Ф. Д., проведенных в области биохимии зерна, определена последовательность процесса расщепления фитина в зерновке злаков при участии воды.

Вода, применяемая на стадии набухания зерна, способствует активизации его ферментных систем, в том числе фитазы, оказывающей большое влияние на пищевую ценность пшеницы и ржи, а следовательно, и изделий на их основе. Активность фитазы значительно возрастает после поступления из корневой системы к зародышу по образовавшимся сосудам гиббереллиновой кислоты, которая далее направляется через щиток и эндосперм к алейроновому слою. Эпителиальные клетки щитка и алейроновые клетки, выделяя органические кислоты, создают оптимальные условия для работы зерновой фитазы (рН 4-6). Вслед за секрецией кислот в алейроновом слое в присутствии гиббереллиновой кислоты повышается активность фитазы, которая выделяется в эндосперм и семенные, плодовые оболочки. При этом часть фитина перемещается в зону эндосперма. Далее фитаза гидролизует фитин, содержащийся в зернов-

ке, на инозит и соли фосфорной кислоты. Последние диссоциируют с образованием остатков фосфорной кислоты и ионов металлов (кальция, магния, железа, цинка). Образовавшиеся при гидролизе и растворившиеся в воде низкомолекулярные вещества перемещаются в зону зародыша и используются для его питания и биосинтеза сложных органических веществ, необходимых для формирования новых тканей.

Биотрансформация веществ, образующихся при гидролизе фитина, осуществляется, во-первых, за счет температурного градиента в зерновке, образуемого при набухании, которое сопровождается выделением теплоты в процессе дыхания пшеницы и ржи. Во-вторых, путем активизации щитка, через который питательные вещества из эндосперма перемещаются также в зародыш.

В ходе экспериментальных исследований определяли содержание фитина и активность фитазы на разных этапах подготовки биоактивированного зерна пшеницы и ржи. Пшеницу подвергали набуханию и проращиванию, зерно ржи - только набуханию, так как в нем изначально находится α -амилаза, активность которой значительно увеличивается в ходе проращивания, что в последствии приводит к получению хлеба с липким, заминающимся мякишем [Казаков Е. Д., 2005].

Выявлено, что в процессе биоактивации злаковых культур содержание фитина снижалось (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение содержания фитина и активности фитазы в процессе биоактивации зерна пшеницы и ржи

Этапы подготовки зерна	Содержание фитина в зерне, г/100 г СВ		Активность фитазы, ед./кг	
	пшеницы	ржи	пшеницы	ржи
До биоактивации	2,55±0,13	1,41±0,07	170±8	257±12
Набухание 24 ч	1,30±0,07	0,29±0,02	357±17	1038±41
42 ч	-	0,09±0,01	-	1619±45
Проращивание	0,63±0,03	-	678±33	-

На стадии набухания пшеницы содержание фитина уменьшалось на 49 %, при набухании и последующем проращивании - на 75 % по сравнению с нативным зерном. В зерне ржи при набухании в течение 24 ч и 42 ч фитина было меньше в 4,8 и 15,7 раз соответственно по сравнению с зерном до биоактивации. Это обусловлено тем, что в ходе биоактивации зерна пшеницы (набухавшей 24 ч и проращавшей 12 ч) и ржи (набухавшей 42 ч) повышается активность фитазы в 4,0 и 6,3 раза соответственно, которая гидролизует фитин с образованием инозита, остатков фосфорной кислоты и ионов металлов (кальция, магния, железа, цинка), обеспечивающих необходимые физиологические функции в организме человека. Следовательно, большая интенсивность снижения фитина в биоактивиро-

ванной ржи обусловлена большей активностью в ней эндогенной фитазы, которая значительно увеличивается при набухании.

В ходе экспериментальных исследований установлена закономерность изменения элементного состава в зерне пшеницы (нативном, набухшем в течение 24 ч в воде и пророщенном в течение 12 ч) и ржи (набухшем в течение 24 ч и 42 ч в воде). Путем применения рентгеновского энергодисперсионного анализа поперечного разреза зерна глубиной 5 мкм и масс-спектрометрии выявлено, что содержание минеральных веществ в процессе биоактивации пшеницы и ржи изменялось. В зерновых культурах наблюдалось наибольшее содержание биогенных макроэлементов (углерод, кислород), входящих в состав органических веществ. При набухании злаковых культур содержание углерода увеличивалось, кислорода – уменьшалось, что обусловлено активацией процесса дыхания. В пророщенной пшенице магния было больше на 0,42 % мас. (98 мкг/г), фосфора – на 0,08 % мас. (158 мкг/г), кальция – 0,04 % мас. (39 мкг/г), железа – 0,05 % мас. (1,92 мкг/г), цинка – 5,17 мкг/г, меди – 0,97 % мас. и меньше серы на 0,02 % мас., хлора – 0,03 % мас., калия – 0,05 % мас. по сравнению с нативным зерном. Снижение содержания серы, хлора и калия в 100 г измеренного слоя образца пшеницы (по поперечному разрезу) в процессе биоактивации зерна обусловлено их перемещением в зону зародыша и использованием для биосинтеза органических веществ. В процессе набухания зерна ржи также увеличивалось содержание магния, фосфора, кальция, железа и уменьшалась масса серы, хлора, калия. Набухшее в течение 42 ч зерно ржи отличалось большим содержанием минеральных веществ. Однако путем применения рентгеновского энергодисперсионного анализа медь была обнаружена только в зерне пшеницы. При этом в процессе биоактивации зерна пшеницы ее содержание увеличилось в 6,4 раза. В 1 г биоактивированного зерна ржи (набухавшего в течение 42 ч) содержалось больше кальция, магния, фосфора, железа на 90, 318, 288, 6,4 мкг соответственно, но меньше цинка на 5,7 мкг по сравнению с биоактивированным зерном пшеницы. Известно, что медь и цинк входят в состав 30 и 200 ферментов соответственно [Кутушов М. В., 2006].

С точки зрения оценки питательных свойств злаковых культур и характеристики качества полученных на их основе продуктов питания представляет интерес не только общее содержание минеральных веществ в зерне, но и распределение отдельных элементов по различным морфологическим частям зерновки. Топографическое картирование распределения фосфора, кальция и магния по поперечному разрезу пшеницы (нативной, набухшей, пророщенной) и ржи (нативной, набухшей) выявило, что высокие их концентрации наблюдались в оболочечных частицах и алейроновом слое, а также в области бороздки (рисунок 2). Путем приме-

нения рентгеновского энергодисперсионного анализа обнаружено неравномерное распределение элементов по различным морфологическим частям пшеницы нагивной, набухшей, пророщенной. Наибольшее содержание магния, фосфора наблюдалось в алейроновом слое и кальция – в семенной и плодовой оболочках пророщенного зерна пшеницы.

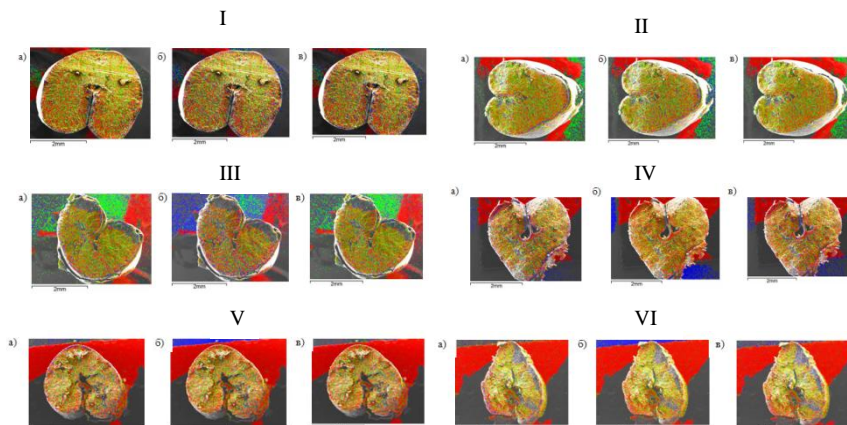


Рисунок 2 – Распределение фосфора (а), магния (б), кальция (в) по поперечному разрезу нагивного (I), набухшего (II), пророщенного (III) зерна пшеницы и нагивного (IV), набухшего 24 ч (V), набухшего 42 ч (VI) зерна ржи: кислород – зеленый, углерод – красный, фосфор, магний, кальций – сине-фиолетовый

Исследовано влияние продолжительности биоактивации в течение 54 ч при $(19 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ на биотехнологический потенциал биоактивированных злаковых культур. Установлено, что в процессе биоактивации зерна пшеницы и ржи содержание крахмала уменьшалось на 7,3 и 8,0 %, моно-

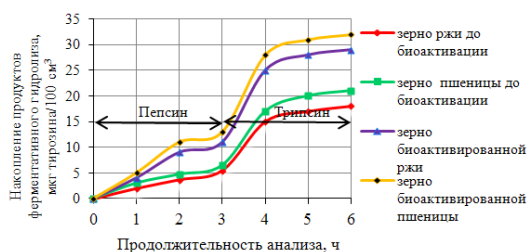


Рисунок 3 - Перевариваемость белков зерна системой «пепсин-трипсин»

и дисахаридов увеличивалось на 0,83 и 1,45 г, антиоксидантов – на 57,7 и 59,6 %, значение числа падения снижалось в 1,8 и 2,3 раза соответственно. За счет биоактивации перевариваемость белков зерна пшеницы и ржи под действием пищеварительных ферментов *in vitro* проходила в большей степени (рисунок 3). Это обусловлено частичным их гидролизом под действием протеолитических ферментов, активность которых при биоак-

тивации увеличивается в 1,8 и 2,3 раза соответственно. За счет биоактивации перевариваемость белков зерна пшеницы и ржи под действием пищеварительных ферментов *in vitro* проходила в большей степени (рисунок 3). Это обусловлено частичным их гидролизом под действием протеолитических ферментов, активность которых при биоак-

тивации увеличивается [Казакоев Е. Д., 2005]. Меньшая перевариваемость белков биоактивированного зерна ржи по сравнению с биоактивированной пшеницей обусловлена большим содержанием в нем пищевых волокон [Скурихин И. М., 2007].

Методом математического моделирования установлены условия набухания (температура - 18-20 °С, продолжительность - 22-24 ч) и проращивания (температура - 18-20 °С, продолжительность - 11-12 ч) для пшеницы и набухания (температура - 18-20 °С, продолжительность - 41-42 ч) для ржи, которые необходимо соблюдать для получения зернового хлеба требуемого качества.

Для выявления возможности технологическими приемами уменьшить количество фитина в злаковых культурах для производства зернового хлеба исследовано влияние пяти способов его приготовления на содержание фитина в пшенице и ржи: 1 – нативное зерно (контроль, без биоактивации), 2 – путем биоактивации злаковых культур (пшеницу выдерживали 24 ч в воде температурой 20 °С и проращивали 12 ч, рожь - 42 ч в воде температурой 20 °С), 3 – путем биоактивации злаковых культур и применения подкислителей при приготовлении теста (к подготовленным по способу 2 биоактивированным злаковым культурам при замесе теста добавляли аскорбиновую кислоту и сухую молочную сыворотку в дозировке 0,5 и 1,0 % соответственно к массе зерна), 4 - путем биоактивации злаковых культур и применения закваски на их основе при приготовлении теста (к подготовленным по способу 2 биоактивированным злаковым культурам при замесе теста добавляли 30 % густой закваски, приготовленной на их основе), 5 - путем биоактивации злаковых культур с применением ферментного препарата на основе фитазы F 4.2 В (при pH 5,0 и температуре 40 °С пшеницу замачивали 12 ч при дозировке применяемого препарата 0,09 % от массы зерна, рожь - 18 ч при 0,15 %). Выявлено, что эффективным технологическим способом снижения фитина в хлебе из целого зерна является комбинированный способ, сочетающий биоактивацию на стадии подготовки злаковых культур и применение закваски, подкислителей (аскорбиновой кислоты, молочной сыворотки) на этапе приготовления теста (рисунок 4). Выбранные технологические приемы являются доступными, безопасными и экономически выгодными для производителей зернового хлеба.

Сведения о снижении фитина на разных этапах приготовления хлеба из биоактивированного зерна пшеницы отсутствуют. Исследовано содержание фитина в двух образцах полуфабрикатов и хлеба из пророщенного зерна пшеницы, приготовленных разными способами: образец № 1 – без использования заквасок (контроль); образец № 2 – с 30 % густой закваски из биоактивированного зерна пшеницы.

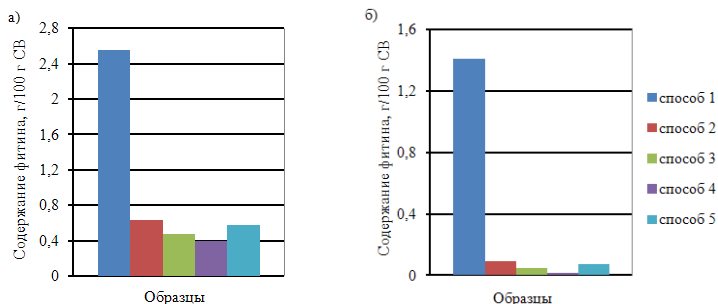


Рисунок 4 – Влияние технологических способов на содержание фитина для зерна пшеницы (а) и ржи (б)

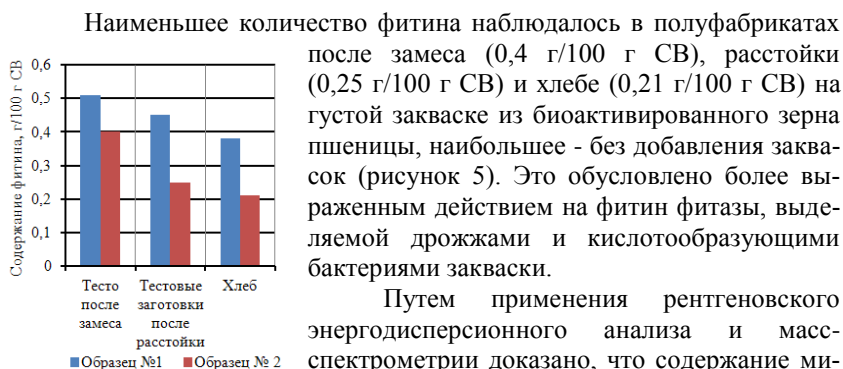


Рисунок 5 - Содержание фитина в полуфабрикатах и хлебе из биоактивированного зерна пшеницы, приготовленных разными способами

Путем применения рентгеновского энергодисперсионного анализа и масс-спектрометрии доказано, что содержание минеральных веществ (фосфор, железо, цинк, кальций, магний) в зерновом хлебе, приготовленном на густой закваске из биоактивированного зерна пшеницы, было больше в среднем на 4,9 % по сравнению с контролем.

Для определения биодоступности минеральных веществ и окислительно-антиокислительного статуса организма лабораторных животных за счет употребления хлеба, полученного из нативного и биоактивированного зерна пшеницы, было сформировано три группы животных: 1-я содержалась на полнорационном гранулированном комбикорме, 2-я – на хлебе из цельносомлотого нативного зерна пшеницы, 3-я – на хлебе из биоактивированного (пророщенного) зерна пшеницы. Для мониторинга содержания кальция в костной ткани животных всех групп проводили гистоморфологическое исследование. В возрасте 15 дней костный фрагмент на микроструктурном уровне характеризовался тем, что оссеиновые волокна не имели характерного для зрелой костной ткани упорядоченного расположения. Микроструктурный анализ позволил визу-

ально выявить некоторые различия костной ткани, сформированной к 21-му дню эксперимента. В костной ткани мышей, в рацион которых вводили хлеб из биоактивированного зерна пшеницы, наблюдались более мощные, разрозненные остеоны (рисунок 6 а). Это различие объясняется обменом кальция и более ранним формированием структурных единиц костей и соединительной ткани в организме мышей 3-й группы по сравнению с животными 1-й группы. Цитофотометрический анализ гистохимической реакции кальция костной ткани с Ализариновым красным S на 21-й день эксперимента показал существенные отличия его содержания у животных разных групп. Так, на 21-й день кормления значение светопогло-

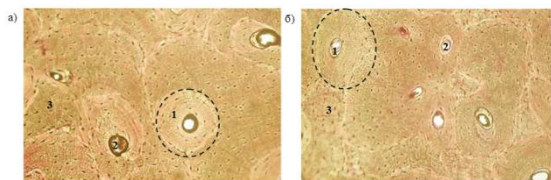


Рисунок 6 - Микроструктура зрелой костной ткани животных 3-й (а) и 1-й (б) групп на 21-й день эксперимента ($\times 100$): 1 – остеон; 2 - канал остеона (Гаверсов канал); 3 - вставочные костные пластинки (окрашено тионином и пикриновой кислотой)

щения костной ткани наиболее возросло в препаратах мышей 3-й группы (на 58,0 %). Это связано с тем, что употребление хлеба из биоактивированного зерна пшеницы способствует большему содержанию кальция в костной ткани животных, так как проращивание зерна улуч-

шает его биодоступность.

Установлено, что на 21-й день эксперимента наибольшая активность фермента антиоксидантной защиты супероксиддисмутазы и наименьший уровень малонового диальдегида наблюдались у животных 3-й группы (таблица 2). Это объясняется тем, что при биоактивации зерна пшеницы образуются эффективные антиоксиданты - биофлавоноиды, витамин Е, цинк, способствующие активации антиоксидантной системы организма мышей.

Таблица 2 - Активность супероксиддисмутазы и уровень малонового диальдегида в организме животных

Группа животных	Значение исследуемых показателей в начале и конце эксперимента			
	Супероксиддисмутазы, мкМ формазана/мг белка/мин		Малоновый диальдегид, ммоль/л	
	Начало	Конец	Начало	Конец
1	1058,4 \pm 121,62	1118,3 \pm 202,14*	0,08 \pm 0,019	0,08 \pm 0,019
2	1101,3 \pm 114,07	1986,4 \pm 120,11*	0,09 \pm 0,016	0,06 \pm 0,019*
3	1093,4 \pm 109,15	2056,9 \pm 146,31*	0,09 \pm 0,018	0,04 \pm 0,017*

*Статистически значимое ($p < 0,05$) отличие между показателями в начале и конце эксперимента

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о возможности применения изделий из биоактивированных злаковых культур

в питании как пожилых, так и других категорий населения для снижения риска возникновения остеопороза, сердечно-сосудистых заболеваний.

Глава 4. Разработка новых технологий и ассортимента зернового хлеба повышенной пищевой ценности, балловой шкалы для оценки его качества. С целью расширения сырьевой базы и импортозамещения разработан биологический способ получения подкисленного зерна ржи «Авангард» (ТУ 9297-157-02068108-2012), который заключается в выдерживании при 35 °С ржи влажностью 44 % (предварительно набухшей в питьевой воде) в культуральной среде с молочнокислыми бактериями (КС с МКБ) *L. plantarum* (гидро модуль 1:1), частично растворяющих оболочки клеток, и последующей ее сушке. Это позволит обеспечить минимальные значения предела прочности оболочечных частиц ржи и создать ресурсосберегающую технологию хлеба. Методом математического моделирования получены рациональные параметры подготовки подкисленного зерна «Авангард» (кислотность КС с МКБ 24,0-28,5 град, время набухания в КС с МКБ 55-72 ч) и режимы его сушки (продолжительность в шкафной конвективной сушилке от 2 до 6 ч при толщине слоя ржи 5-20 мм и температуре 40-60 °С), обеспечивающие наилучшие свойства теста, качество хлеба и позволяющие в большей степени приблизить его предел прочности к значению, характерному для контрольного образца (зерна «Сафткорн»).

Получена математическая зависимость (1) предела прочности оболочечных частиц ржи «Авангард» (σ , кПа) от кислотности КС с МКБ (K , град) и продолжительности ее набухания (τ_n , ч), позволяющая прогнозировать реологические свойства зерна и обеспечивающая предел его прочности 1400-1500 кПа (для ржи, отобранной с поверхности корки хлеба):

$$\sigma = 2184,3 - 3,889 \tau_n - 24,719 K + 0,0978 \tau_n K. \quad (1)$$

Данными электронной микроскопии было доказано наличие МКБ на поверхности ржи, полученной предлагаемым способом. Несколько

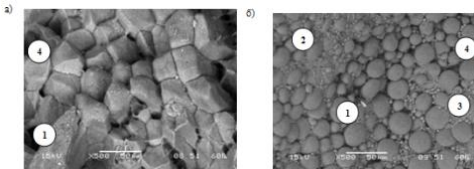


Рисунок 7 - Центральная часть эндосперма подкисленного зерна ржи ($\times 500$) (а – «Сафткорн») и (б – «Авангард»): 1 – крупное зерно крахмала; 2 – мелкое зерно крахмала; 3 – белковая матрица; 4 – воздушная полость

большая твердость подкисленного зерна «Авангард» по сравнению с рожью «Сафткорн» объясняется большим содержанием оболочечных частиц, меньшим числом воздушных полостей. Крахмальные зерна подкисленной ржи «Авангард» были сферической формы, у «Сафткорн» - кристаллической (рисунок 7).

Подкисленное зерно ржи «Авангард» отличалось большим КМАФАнМ, содержанием токсичных элементов (значения были в рамках требований ТР ТС 021/2011), макро-, микронутриентов, антиоксидантов, показателем биологической ценности. Кроме того, опытный образец подкисленного зерна был более темноокрашенным и отличался большей интенсивностью аромата, достаточным количеством органических кислот (таблица 3), которые в контрольном образце были обнаружены в незначительных количествах. Зерно, полученное предлагаемым способом, рекомендуется хранить 9 мес., что позволит вырабатывать изделия без ухудшения их качества. На основе подкисленного зерна «Авангард» разработана технология хлеба «Актуаль» (ТУ 9113-105-02068108-2011), (патент РФ № 2485781), даны рекомендации по его хранению в разных видах упаковочного материала, в т. ч. в бумажных пакетах.

Таблица 3 - Содержание органических кислот в подкисленном зерне ржи

Наименование кислот	Значение показателей, г/100 г подкисленного зерна ржи	
	«Сафткорн» (контроль)	«Авангард»
Щавелевая	0,001 ± 0,0001	0,08 ± 0,01
Винная	Менее 0,0001	0,27 ± 0,05
Муравьиная	Менее 0,0001	0,32 ± 0,05
Яблочная	Менее 0,0001	0,51 ± 0,05
Молочная	Менее 0,0001	2,80 ± 0,10
Уксусная	Менее 0,0001	0,73 ± 0,05
Лимонная	Менее 0,0001	0,27 ± 0,05
Янтарная	Менее 0,0001	1,09 ± 0,05
Пропионовая	Менее 0,0001	0,56 ± 0,05
Масляная	Менее 0,0001	0,27 ± 0,05

С целью вовлечения в хозяйственный оборот вторичных ресурсов мукомольного производства обосновано применение муки из жмыха зародышей пшеницы (7,0 % взамен части муки пшеничной) в технологии хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки с подкисленным зерном ржи «Авангард», позволяющее дополнительно повысить в изделии содержание белка, пищевых волокон, минеральных веществ, витаминов, незаменимых аминокислот, антиоксидантов, сократить продолжительность брожения полуфабриката (на 20-30 мин), улучшить свойства теста, качество хлеба и увеличить интенсивность его аромата. На основе проведенных исследований разработана технология хлеба «Артос» (ТУ 9113-256-02068108-2014), (патент РФ № 2574488).

Получение биоактивированного зерна сопровождается повышением активности его ферментативного комплекса, прежде всего, амилалитических и протеолитических ферментов, приводящей к ухудшению показателей качества зернового хлеба. Для снижения их активности используют подкислители, закваски, в том числе спонтанного брожения

из биоактивированного зерна пшеницы. Микробиологический контроль качества последней требует особого внимания, так как, во-первых, данный полуфабрикат приготовлен из набухшей пшеницы, являющейся благоприятной средой для развития микрофлоры, во-вторых, закваски спонтанного брожения характеризуются нестабильной микрофлорой.

В связи с этим разработаны технологические приемы, направленные на повышение микробиологической чистоты густой закваски, полученной путем спонтанного брожения из предварительно измельченной набухшей пшеницы: 1 - температура выбраживания 40-45 °С до кислотности 8,0-10,0 град, 2 - применение на стадии набухания зерна электроактивированного водного раствора с рН 2,5 или хмелевого настоя (ХН) (при соотношении шишки хмеля:вода = 1:100), 3 - использование на этапе замеса полуфабриката хмелевой композиции (ХК) в дозировке 0,055 % к массе нативной пшеницы. Представленные рекомендации препятствуют развитию в полуфабрикатах условно-патогенных микроорганизмов, в том числе бактерий семейства *Enterobacteriaceae*, что позволит стабилизировать их качество. Доказано отсутствие в предлагаемых густых заквасках патогенных микроорганизмов. В результате исследований разработан способ получения густой закваски «Хмелевая злаковая» (ТИ 9100-243-02068108-2014) с применением ХН на стадии набухания пшеницы или ХК «Ингредиент КХ» на стадии приготовления полуфабриката.

При промышленном ведении заквасок, в том числе густых из биоактивированного зерна пшеницы, особенно на предприятиях малой мощности, возникает ряд трудностей, связанных с необходимостью дополнительного оборудования, производственных площадей, квалифицированных работников. Решением данной проблемы является использование сухих заквасок взамен традиционным, применение которых не требует возобновления и освежения, что позволит сократить время и трудозатраты на подготовку к приготовлению теста.

В связи с этим разработан способ получения сухой закваски «Хмелевая злаковая», предусматривающий выбраживание густой закваски из биоактивированного зерна пшеницы с хмелепродуктами 48 ч при температуре 40-45 °С до кислотности 17-19 град, высушивание полученного полуфабриката до влажности 10,0 % при температуре 30-50 °С, позволяющей практически полностью сохранить в закваске в активном состоянии кислотообразующие бактерии, и измельчение ее дезинтеграционно-волновым способом (ТУ 9195-327-02068108-2015), (патент РФ № 2630501).

Получена математическая зависимость (2) продолжительности сушки густой закваски из биоактивированного зерна пшеницы (τ , ч) от толщины слоя полуфабриката ($h_{\text{сл}}$, мм) и температуры сушильного агента (t , °С), позволяющая прогнозировать ее время в пределах 30-80 ч:

$$\tau = 23,75 + 62,5 \cdot h_{\text{сл}} - 0,125 \cdot t - 0,75 \cdot h_{\text{сл}} \cdot t. \quad (2)$$

С целью улучшения качества зернового хлеба и повышения его микробиологической чистоты рекомендовано готовить сухую закваску с применением разработанной ХК (ТУ 9199-390-02068108-2016), состоящей из измельченных шишек хмеля и соли йодированной в соотношении 1,0:0,3. Определены рациональные дозировки сухой закваски из биоактивированной пшеницы (10 и 15 % к массе нативного зерна). На основе густой и сухой закваски «Хмелевая злаковая» разработаны технологии хлеба «Экохмель» (ТУ 9110-257-02068108-2014), (патенты РФ № 2560192, 2569020) и хлеб «Биохмелевой» (ТУ 9110-328-02068108-2015) соответственно.

Приведены исследования содержания органических кислот, состава ароматобразующих веществ в заквасках из биоактивированного зерна пшеницы и качества зернового хлеба на их основе.

На основе оценки химического и аминокислотного состава нетрадиционных видов сырья для обогащения хлеба из биоактивированного зерна пшеницы рекомендовано использование муки из жмыха зародышей пшеницы и отрубей гречишных (соответственно 6,5 и 5,0 % к массе нативного зерна). Применение обогатителей в технологии зернового хлеба способствует улучшению свойств теста, сокращению продолжительности его брожения на 15-75 мин, повышению качества изделий, усилению в них интенсивности аромата, повышению микробиологической чистоты и содержания связанной влаги. Улучшение свойств теста и качества хлеба обусловлено, во-первых, повышением начальной кислотности полуфабриката за счет внесения обогатителей, что снижает степень протекания в нем гидролиза крахмала и протеолиза белка, во-вторых, дополнительным дозированием с данным сырьем питательных веществ, повышающих биотехнологические свойства дрожжей, в-третьих, внесением с мукой из жмыха зародышей пшеницы метионина и цистина. Последний за счет наличия дисульфидной связи укрепляюще воздействует на клейковину полуфабриката, что способствует большему удерживанию им диоксида углерода. 2-амино-4-метилтиобутановая кислота (метионин) является серосодержащей аминокислотой для биосинтеза 2-амино-3-сульфанилпропановой кислоты (цистеина). При взаимодействии двух молекул последней также образуется 3,3'-дитио-бис-2-аминопропионовая кислота (цистин). В-четвертых, компоненты муки из отрубей гречишных при взаимодействии с протеинами пшеницы образуют комплексы, укрепляющие клейковинный каркас, удерживающий диоксид углерода в большей степени.

Доказано, что использование муки из отрубей гречишных и жмыха зародышей пшеницы повышает пищевую ценность хлеба, содержание в нем антиоксидантов (в 1,1-1,8 раза). Кроме того, применение выбранных

обогащителей способствует экономии основного сырья и вовлечению в хозяйственный оборот вторичных ресурсов мукомольной промышленности.

В результате разработана технология хлеба «Элит» (ТУ 9110-257-02068108-2014), (патент РФ № 2560618) с мукой из жмыха зародышей пшеницы на густой закваске «Хмелевая злаковая» и хлеба «Грэй» (ТУ 9110-329-02068108-2015), (патент РФ № 2619277) с мукой из отрубей гречишных (ТУ 9293-293-02068108-2014), (патент РФ № 2583615) на сухой закваске «Хмелевая злаковая».

На предприятиях малой мощности производство хлеба из биоактивированной пшеницы затруднено, что обусловлено введением дополнительной стадии биоактивации зерна, необходимостью дополнительных производственных площадей, оборудования, квалифицированных кадров. Решением указанной проблемы является использование замороженных полуфабрикатов.

В связи с этим выбраны три способа замораживания для производства зернового хлеба с применением сухой пшеничной клейковины (СПК): 1 – теста после замеса, 2 – полуфабрикатов повышенной степени готовности (на 70-75 %), 3 – выпеченного хлеба, позволяющие получить изделия с наилучшими органолептическими и физико-химическими показателями качества. Установлена продолжительность трех периодов процесса замораживания (охлаждения, кристаллообразования, промерзания до заданной температуры (-18) °С) для полуфабрикатов и готовых изделий из биоактивированного зерна пшеницы. Для образцов, приготовленных по способам 2 и 3, из-за меньшего содержания свободной воды по сравнению с пробой, полученной по способу 1, требуется больше времени для замораживания. Введение в рецептуру СПК также способствует более медленному промерзанию всех образцов за счет низкого содержания свободной влаги, большая часть которой связывается белками клейковины. Для заморозки теста предпочтительно замешивать полуфабрикат с начальной температурой 15 °С, что обусловлено ускорением теплоотвода, образованием более мелких по размеру кристаллов льда [Кульп К., 2005] и меньшей вероятностью нарушения структуры полуфабриката.

Определены теплофизические характеристики для теста из биоактивированного зерна пшеницы и выявлены закономерности их изменения при льдообразовании, необходимые для разработки рациональных параметров замораживания и выполнения тепловых расчетов в холодильной технологии зернового хлеба из биоактивированной пшеницы.

На основе выбранных способов замораживания разработана технология хлеба «Айсбрэд» из биоактивированного зерна пшеницы (ТУ 9110-330-02068108-2015), (патент РФ № 2611849).

Получены математические зависимости (3), (4) изменения продолжительности охлаждения (τ_1 , мин) и замораживания (τ_2 , мин) тестовой заготовки от ее массы (x_1 , кг), начальной температуры теста (x_2 , °C) и дозировки СПК (x_3 , %), позволяющие прогнозировать продолжительность отдельных стадий понижения температуры при низкотемпературной обработке теста из биоактивированного зерна пшеницы (в пределах времени охлаждения – 12,7-49,8 мин и времени замораживания – 22,0-98,7 мин):

$$\tau_1 = 28,739 + 11,036x_1 + 12,209x_2 + 0,217x_1x_2 - 5,154x_2x_3 - 0,078x_1^2 + 3,694x_3^2, \quad (3)$$

$$\tau_2 = 63,121 + 14,69x_1 + 11,052x_2 + 11,435x_3 + 0,386x_1x_3 - 3,804x_2x_3 - 0,075x_1^2. \quad (4)$$

Путем применения электронной микроскопии выявлено, что вы-

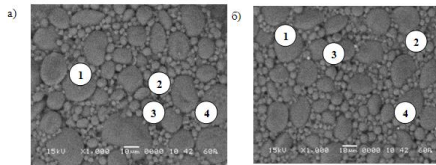


Рисунок 8 - Микроструктура выброженного теста ($\times 1000$) (а – без замораживания (контроль), б – с замораживанием): 1 – зерно крахмала; 2 – белковая матрица; 3 – воздушная полость; 4 – следы воздействия амилолитических ферментов

броженное тесто, предварительно подвергшееся заморозке, отличалось более мелкими размерами крахмальных зерен, меньшим числом воздушных полостей и следов воздействия амилолитических ферментов по сравнению с контрольным образцом (без заморозки) (рисунок 8). Это обусловлено воздействием низких температур, снижающих набухаемость крахмальных зерен

и активность амилолитических ферментов и приводящих к гибели части дрожжевых клеток. В результате при брожении в меньшей степени выделяется диоксид углерода, придающий полуфабрикатам разрыхленную структуру. В хлебобулочных изделиях, приготовленных на основе замороженных полуфабрикатов, наблюдались воздушные полости больших размеров (рисунок 9).

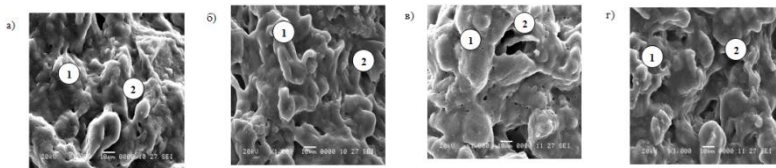


Рисунок 9 - Микроструктура мякиша хлеба через 3 ч после выпечки ($\times 1000$): а – без заморозки (контроль); б – заморозкой по способу: б – 1; в – 2; г – 3 (1 – белковая матрица; 2 – воздушная полость)

В опытных изделиях наибольшие их размеры были в образцах, приготовленных по способам 2 и 3. Это обусловлено тем, что вокруг поверхности зерен клейстеризованного крахмала в указанных опытных

образцах находится воздушная прослойка, размер которой увеличивается в связи с уменьшением объема крахмальных зерен при замораживании, что сопровождается уплотнением структуры мякиша.

Наилучшими реологическими свойствами мякиша обладал хлеб «Айсбрэд», приготовленный по способу 3, наибольшими значениями содержания связанной влаги и меньшей микробиологической обсемененностью - по способу 1, максимальной интенсивностью аромата - по способу 2. Применение выбранных трех способов замораживания в технологии зернового хлеба способствует повышению перевариваемости его белков (по результатам оценки на *P. caudatum*) на 1-6 %. Для хлеба «Айсбрэд» рекомендовано замороженное тесто хранить не более 21 сут, так как в течение указанного периода в меньшей степени накапливается содержание мертвых клеток, глутатиона, сохраняется достаточная бродительная активность дрожжевых клеток и незначительно снижается величина удельного объема изделия.

В связи с тем что в последнее время на хлебопекарных предприятиях находит широкое применение производство изделий на основе хлебопекарных смесей (ХПС) и из-за отсутствия ХПС из биоактивированного зерна пшеницы и ржи, проведены исследования, в результате которых обоснован и разработан состав двух ХПС: «Черняевская» (ТУ 9195-382-02068108-2016) с биоактивированным зерном пшеницы, «Ливенка» (ТУ 10.61.24-461-02068108-2018) с биоактивированным зерном пшеницы, ржи (патент РФ № 2676315) (рисунок 10). На основе ХПС «Черняевская» разработан хлеб «Черняевский» (ТУ 9110-384-02068108-2016) (патент РФ № 2674593), «Ливенка» - хлеб «Ливенский» (ТУ 10.71.11-462-02068108-2018).

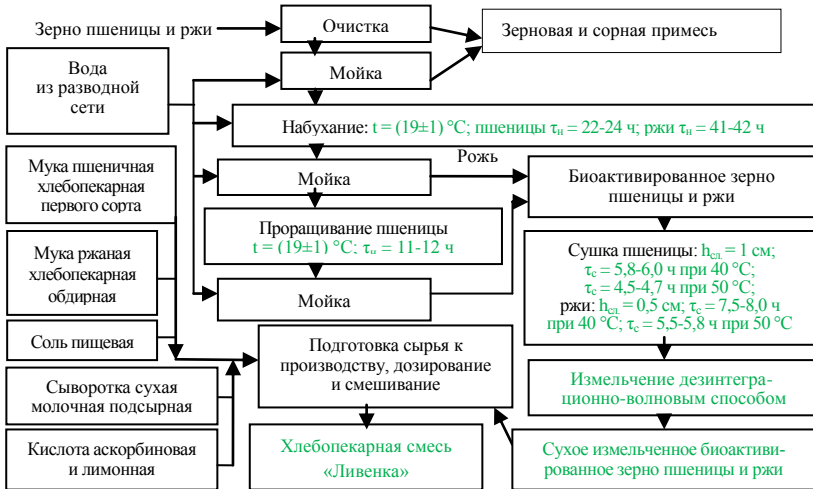


Рисунок 10 – Функциональная схема получения хлебопекарной смеси

Выявлено, что степень однородности ХПС «Черняевская» и «Ливенка» составляла (90±5) %, сыпучесть была удовлетворительной. В течение 6 мес. хранения ХПС титруемая кислотность в них практически не изменялась, водоудерживающая способность повышалась на 7,4-12,7 %, объемная масса – на 8,5-8,9 %, угол естественного откоса – на 15,4-16,7 %, КМАФАнМ – в 7,7-10,0 раз, активность воды уменьшалась на 12,7-18,3 % и содержание антиоксидантов – на 17-20 %. Оценка физико-механических свойств разработанных хлебопекарных смесей позволила определить их достаточную транспортабельность, сыпучесть и хранимость в течение 6 мес. Микробиологическая обсемененность зернового хлеба на основе ХПС, хранившихся в течение 6 мес., возростала, антиоксидантная активность снижалась на 10,8-11,6 % (таблица 4).

Таблица 4 – Изменение общей обсемененности, активности воды и содержания антиоксидантов в хлебе при разной продолжительности хранения ХПС

Наименование показателей	Значения показателей для хлеба					
	«Черняевский» при хранении ХПС «Черняевская» в течение, мес.			«Ливенский» при хранении ХПС «Ливенка» в течение, мес.		
	В начале хранения	3	6	В начале хранения	3	6
КМАФАнМ, КОЕ/г	менее $4,0 \cdot 10^1$	$1,7 \cdot 10^2$	$5,4 \cdot 10^2$	менее $4,0 \cdot 10^1$	$1,3 \cdot 10^2$	$3,9 \cdot 10^2$
Активность воды при температуре окружающей среды ($t_{o,c}$)	0,936 при $t_{o,c} = 19,81 \text{ }^\circ\text{C}$	0,923 при $t_{o,c} = 22,34 \text{ }^\circ\text{C}$	0,953 при $t_{o,c} = 22,56 \text{ }^\circ\text{C}$	0,935 при $t_{o,c} = 19,98 \text{ }^\circ\text{C}$	0,918 при $t_{o,c} = 21,69 \text{ }^\circ\text{C}$	0,947 при $t_{o,c} = 22,65 \text{ }^\circ\text{C}$
Суммарное содержание антиоксидантов, мг/100 г СВ	1,12	1,05	0,99	1,02	0,96	0,91

Показатель активности воды для хлеба «Черняевский» на протяжении всего процесса хранения ХПС был выше по сравнению с хлебом «Ливенский», что свидетельствует о большем содержании в последнем образце связанной влаги (на 20 %) и меньшем развитии в нем МАФАнМ (в 1,3-1,4 раза).

Следовательно, применение разработанных ресурсосберегающих технологий позволит рационально использовать отечественную сырьевую базу натурального происхождения, в том числе вторичные ресурсы мукомольной промышленности, повысить эффективность технологического процесса, обеспечить увеличение пищевой ценности хлеба для лечебного питания и профилактики алиментарно-зависимых заболеваний.

Так как для количественной оценки органолептических показателей качества зернового хлеба существующие балловые шкалы не в полной мере учитывают его особенности, прежде всего, такие как липкий, заминающийся мякиш, то в связи с этим разработана пятибалльная шкала для оценки качества хлеба с применением биоактивированного зерна, учитывающая особенности его органолептических характеристик, и установлены коэффициенты весомости с учетом особенностей показателей изделия. Предлагаемая балловая шкала позволит оперативно охарактеризовать качество хлеба, приготовленного на основе биоактивированных злаковых культур.

Глава 5. Медико-биологическая оценка и биотехнологический потенциал хлебобулочных изделий, экономическая эффективность производства зернового хлеба. Проводили сравнительную оценку биотехнологического потенциала хлебобулочных изделий массового спроса (хлеб белый из пшеничной муки первого сорта, дарницкий) и новых видов зернового хлеба.

При определении фактического содержания макро- и микронутриентов в хлебе установлено, что употребление 100 г разработанных изделий обеспечит удовлетворение суточной нормы по белку на 11,1-12,7 %, жиру – 1,5-1,7 %, усвояемым углеводам – 9,2-11,2 %, пищевым волокнам - 19,1-22,3 %, незаменимым аминокислотам – 6,2-16,5 %, витаминам - 7,5-34,3 %, минеральным веществам – 3,5-36,6 %.

Определение антиоксидантной активности хлебобулочных изделий показало, что наибольшим содержанием антиоксидантов отличались хлеб «Грэй» (2,7 мг/100 г СВ) и «Элит» (3,8 мг/100 г СВ) (рисунок 11). Это обусловлено, во-первых, большим количеством в их составе биоак-

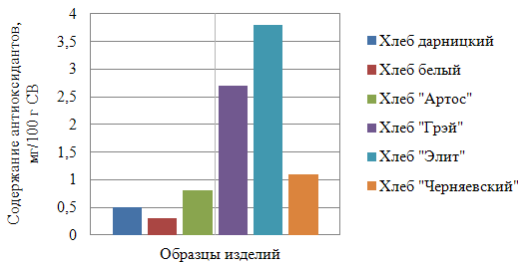


Рисунок 11 - Суммарное содержание антиоксидантов в пересчете на абсолютно сухую массу в хлебобулочных изделиях

тивированного зерна пшеницы, содержащего биофлавоноиды, которые являются самыми сильными антиоксидантами высших растений. Во-вторых, при биоактивации зерна пшеницы увеличивается количество цинка и меди, которые входят в состав ферментов, обладающих антиоксидантными свойствами. В-третьих, в состав хлеба «Грэй» входит

мука из отрубей гречишных, которая является источником кверцетина,

рутина, являющихся также мощными антиоксидантами. В-четвертых, содержащаяся в хлебе «Элит» мука из жмыха зародышей пшеницы богата витамином Е. Хлеб «Элит» превосходил хлеб «Грэй» по количеству антиоксидантов в 1,4 раза. Хлеб «Артос» и хлеб «Черняевский» по содержанию антиоксидантов занимали промежуточное положение между масовыми видами изделий и хлебом «Грэй», «Элит».

Исследование перевариваемости белков образцов хлеба под действием пищеварительных ферментов в системе *in vitro* выявило, что атакуемость биополимера пепсином и трипсином была меньше в разработанных видах изделий по сравнению с хлебом массового спроса. Это обусловлено большим содержанием в них пищевых волокон, более крупным размером частиц биополимеров зерна, способствующих замедлению перевариваемости белка.

С целью определения гликемического индекса предлагаемых видов хлеба исследовали интенсивность расщепления углеводов в организме человека после употребления изделий. Установлено, что наибольшей скоростью адсорбции углеводов обладали традиционные виды хлебобулочных изделий (хлеб дарницкий, белый), а наименьшей – новые виды зернового хлеба. По гликемическому индексу (ГИ) хлеб дарницкий (72 %) и хлеб белый (83 %) относятся к категории изделий с высоким его значением, хлеб «Артос» (61 %) и «Черняевский» (64 %) – со средним, хлеб «Элит» (41,6 %) и «Грэй» (25 %) – с низким. Из разработанных изделий минимальной способностью повышать уровень глюкозы в крови отличался хлеб «Грэй». Это обусловлено большим содержанием в нем пищевых волокон, вносимых с биоактивированным зерном пшеницы и мукой из отрубей гречишных, что снижает доступность углеводов действию ферментов и предотвращает резкое повышение продуктов их гидролиза в крови.

В целях медико-биологической оценки хлеба из биоактивированного зерна пшеницы проводили его клиническую апробацию путем включения в рацион питания добровольцев. Под наблюдением находилось 36 человек в возрасте от 65 до 77 лет, страдающих атеросклерозом и ассоциированными с ним заболеваниями сердечно-сосудистой системы. Испытуемые были разделены на 2 группы (по 18 человек в каждой): 1-я – основная получала зерновой хлеб в «общем варианте диеты», 2-я – контрольная питалась по стандартному меню «общего варианта диеты». Клиническую оценку хлеба осуществляли по показателям липидного спектра плазмы крови: общий холестерин, липопротеиды высокой плотности, липопротеиды низкой плотности и триглицериды. Анализы проводились при поступлении людей в санаторий и их выписке. Также у испытуемых основной и контрольной групп измерялись антропометрические

данные (рост, вес), показатели гемодинамики (артериальное давление, частота сердечных сокращений), отмечались динамика общего состояния и нежелательные явления.

Использование хлеба из биоактивированного зерна пшеницы в комплексном лечении больных позволило констатировать его выраженное положительное влияние на динамику биохимических маркеров атеросклероза у испытуемых основной группы (таблица 5). При выписке в контрольной и основной группах уровень липопротеидов низкой плотности снизился на 1,0 и 2,6 %, триглицеридов – на 0,6 и 1,7 % соответственно по сравнению с исходными значениями (при поступлении). Наибольшее снижение значений данных показателей крови у испытуемых основной группы обусловлено большим содержанием в хлебе из биоактивированного зерна пшеницы пищевых волокон, улучшающих работу желудочно-кишечного тракта, интенсифицирующих обмен веществ, что способствует выведению липопротеидов низкой плотности и триглицеридов из организма человека. Кроме того, вносимые с биоактивированным зерном антиоксиданты также обеспечивают улучшение показателей липидов крови.

Таблица 5 – Средние значения показателей липидов крови контрольной и основной группы ($p < 0,05$)

Показатели	Значения показателей, ммоль/л, для испытуемых группы	
	контрольной	основной
Общий холестерин:		
при поступлении	6,32±0,80	6,28±0,85
при выписке	6,21±0,72	6,19±0,73
Липопротеиды высокой плотности:		
при поступлении	2,23±0,67	2,55±0,60
при выписке	2,13±0,52	2,51±0,57
Липопротеиды низкой плотности:		
при поступлении	3,92±0,70	3,47±0,62
при выписке	3,88±0,68	3,38±0,63
Триглицериды:		
при поступлении	1,69±0,77	1,75±0,79
при выписке	1,68±0,77	1,72±0,75

Потребление зернового хлеба переносилось людьми хорошо, не вызывало ухудшения гемодинамики и объективного статуса. Также испытуемые отметили высокое качество хлеба по результатам балльной оценки органолептических показателей. Следовательно, высокая клиническая эффективность хлеба из биоактивированного зерна пшеницы определяет его перспективность для применения в комплексе мер по оздоровлению лиц с патологией сердечно-сосудистой системы.

Таким образом, разработанные виды зернового хлеба за счет значимых количеств биологически активных веществ (пищевые волокна,

магний, фосфор, железо, тиамин, рибофлавин) и приготовленные по технологиям, позволяющим снизить фитин, можно отнести к функциональным пищевым продуктам, что позволит немедикаментозным путем регулировать и поддерживать функции отдельных органов и их систем, восполнить дефицит микронутриентов, обеспечить выведение токсичных веществ из организма. Проведенные исследования доказывают целесообразность применения новых видов зернового хлеба в рационе питания людей для снижения риска возникновения остеопороза, сердечно-сосудистых заболеваний, профилактики сахарного диабета, болезней желудочно-кишечного тракта, лечения нарушений обмена веществ.

Ожидаемый экономический эффект от реализации 1 т разработанных видов зернового хлеба составит до 15,3 тыс. р. (в зависимости от технологии получения и вида рецептурных компонентов). Применение предлагаемых ингредиентов, полуфабрикатов и приготовление зернового хлеба на их основе позволит улучшить его качество и биотехнологический потенциал, расширить ассортимент, повысить прибыль и экономический эффект от реализации изделий, увеличить конкурентоспособность предприятий, решить проблему импортозамещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ информационно-патентных исследований в области производства хлебобулочных изделий профилактической и лечебной направленности для повышения пищевого статуса населения.

2. Научно обоснован процесс гидролиза фитина под действием эндогенной фитазы зерна и определено повышение ее активности при биоактивации пшеницы и ржи в 4,0 и 6,3 раза соответственно.

3. Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден выбор биоактивированных злаковых культур, установлены параметры набухания и проращивания (температура - 18-20 °С, продолжительность набухания - 22-24 ч (для пшеницы), 41-42 ч (для ржи) и проращивания - 11-12 ч (для пшеницы)), позволяющие снизить содержание фитина и получить изделия требуемого качества.

4. Доказано, что при биоактивации пшеницы (набухавшей 24 ч и прораставшей 12 ч) и ржи (набухавшей 42 ч) увеличивалось содержание минеральных веществ в среднем на 9,7 и 15,3 %, снижалось количество фитина в 4,0 и 15,7 раза соответственно. Определено, что использование закваски и подкислителей на этапе приготовления теста способствовало дополнительному уменьшению антинутриента в зерновом хлебе.

5. Выявлено в опытах *in vivo* повышение биодоступности кальция, активности фермента супероксиддисмутаза, снижение уровня ма-

лонового диальдегида, что свидетельствует об активации антиоксидантной системы организма за счет употребления хлеба из биоактивированного зерна пшеницы.

6. Экспериментально обоснованы параметры, режимы приготовления и сроки хранения полуфабрикатов из биоактивированных злаковых культур (подкисленное зерно ржи, густые и сухие закваски, хлебопекарные смеси, замороженные полуфабрикаты), позволяющие обеспечить стабильное качество зернового хлеба.

7. Получены математические зависимости параметров приготовления и реологических свойств предлагаемых полуфабрикатов, позволяющие прогнозировать динамику изменения выходных факторов в следующих диапазонах: предел прочности оболочечных частиц зерна - 1400-1500 кПа, продолжительность сушки густой закваски из биоактивированного зерна пшеницы - 30-80 ч, время охлаждения - 0,21-0,83 ч и замораживания тестовой заготовки - 0,37-1,65 ч.

8. Научно обоснован выбор обогатителей и установлены их дозировки: муки из жмыха зародышей пшеницы (6,5-7,0 %) и отрубей гречишных (5,0 %), обеспечивающие повышение качества, пищевой ценности, выхода зернового хлеба и способствующие вовлечению в хозяйственный оборот вторичных ресурсов мукомольной промышленности.

9. Определены органолептические, физико-химические, структурно-механические, физико-механические, теплофизические, гидратационные, функциональные свойства, показатели безопасности, микроструктура предлагаемых полуфабрикатов (подкисленное зерно ржи, густые и сухие закваски, хлебопекарные смеси, замороженные полуфабрикаты из биоактивированных злаковых культур) и изделий на их основе, в том числе при хранении.

10. Выявлено, что новые виды зернового хлеба обладают большим содержанием антиоксидантов по сравнению с массовыми видами и относятся к категории изделий со средним и низким значением ГИ (25-64 %). Употребление 100 г разработанных изделий обеспечит удовлетворение суточной нормы по белку на 11,1-12,7 %, жиру – 1,5-1,7 %, усвояемым углеводам – 9,2-11,2 %, пищевым волокнам - 19,1-22,3 %, незаменимым аминокислотам - 6,2-16,5 %, витаминам - 7,5-34,3 %, минеральным веществам – 3,5-36,6 %, что будет способствовать устранению микроэлементоза в организме. Разработана пятибалльная шкала для оценки качества хлеба с применением биоактивированного зерна, учитывающая особенности его органолептических характеристик.

11. Доказано снижение уровня липопротеидов низкой плотности на 2,6 %, триглицеридов – на 1,7 % относительно исходных показателей у добровольцев в возрасте от 65 до 77 лет за счет употребления хлеба из

биоактивированного зерна пшеницы, что свидетельствует о повышении пищевого статуса при включении в рацион питания населения для профилактики алиментарно-зависимых заболеваний.

12. Разработано и утверждено 16 пакетов технической документации на новые полуфабрикаты и изделия, проведена их опытно-промышленная апробация с частичным внедрением в производство. Экономический эффект от реализации 1 т предлагаемых видов зернового хлеба составит до 15,3 тыс. р. (в зависимости от технологии получения и вида рецептурных компонентов). Анализ основных экономических показателей выявил целесообразность производства зерновых хлебобулочных изделий и их доступность различным социальным слоям населения.

Список наиболее значимых работ, опубликованных по материалам диссертации

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Алехина, Н. Н. Влияние стимулятора роста на изменение свойств зерна ржи при набухании / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, Л. В. Логунова // Хлебопродукты. – 2012. - № 4. – С. 42-43 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,12 п.л.).

2. Влияние среды набухания на изменение свойств зерна ржи / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, А. А. Журавлев [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. - № 4. - С. 40-42 (0,37 п.л.; лично соискателем – 0,18 п.л.).

3. Влияние ферментного препарата целлюлолитического действия на свойства зерна при набухании / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, А. Е. Чусова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. - № 10. - С. 41-43 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,12 п.л.).

4. Логунова, Л. В. Способы подготовки зерна ржи в технологии хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки / Л. В. Логунова, Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина // Хлебопродукты. – 2012. - № 2. – С. 54-55 (0,12 п.л.; лично соискателем – 0,06 п.л.).

5. Рекомендации по упаковке хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, Л. В. Логунова [и др.] // Хлебопродукты. – 2013. – № 1. – С. 50-51 (0,12 п.л.; лично соискателем – 0,06 п.л.).

6. Пономарева, Е. И. Разработка способа получения закваски спонтанного брожения из биоактивированного зерна пшеницы / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Журавлева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. – № 2. – С. 21-25 (0,5 п.л.; лично соискателем – 0,17 п.л.).

7. Исследование изменения кислотности в закваске спонтанного брожения / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, А. А. Журавлев [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2013. - № 3. – С. 82-84 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,08 п.л.).

8. Пономарева, Е. И. Выбор параметров приготовления закваски спонтанного брожения из биоактивированного зерна пшеницы / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Журавлева // Вестник ВГУИТ. – 2013. - № 3. – С. 111-113 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,08 п.л.).

9. Пономарева, Е. И. Влияние параметров приготовления закваски спонтанного брожения на качество зернового хлеба / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Журавлева // Хлебопродукты. – 2013. - № 3. – С. 42-43 (0,12 п.л.; лично соискателем – 0,04 п.л.).

10. Цветовые характеристики зерна ржи, подготовленного разными способами / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, П. Н. Саввин [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2013. - № 4. – С. 120-122 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,12 п.л.).

11. Влияние способа подготовки зерна ржи на его микроструктуру и показатели безопасности / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, Т. Н. Малютина [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2014. - № 1. – С. 119-122 (0,37 п.л.; лично соискателем – 0,18 п.л.).

12. Пономарева, Е. И. Влияние продуктов переработки зародышей пшеницы на показатели качества зернового хлеба / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева // Вестник ВГУИТ. – 2014. - № 3. – С. 106-109 (0,37 п.л.; лично соискателем – 0,12 п.л.).

13. Пономарева, Е. И. Гликемический индекс хлебобулочных изделий из биоактивированного зерна пшеницы / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева // Хлебопечение России. – 2014. - № 3. – С. 18-19 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,08 п.л.).

14. Пономарева, Е. И. Разработка способа приготовления зернового хлеба повышенной безопасности / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева // Хлебопродукты. – 2014. - № 12. – С. 52-53 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,08 п.л.).

15. Исследование состава органических кислот в закваске из биоактивированного зерна пшеницы / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, И. А. Бакаева [и др.] // Хлебопродукты. – 2015. - № 1. – С. 62-63 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,12 п.л.).

16. Сравнительная оценка качества полуфабрикатов из биоактивированного зерна пшеницы и изделий на их основе / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2015. - № 1. – С. 64-69 (0,62 п.л.; лично соискателем – 0,21 п.л.).

17. Алехина, Н. Н. Изменение теплофизических характеристик теста из биоактивированного зерна пшеницы в процессе замораживания / Н. Н. Алехина // Хлебопродукты. - 2015. - № 10. - С. 44-45 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,25 п.л.).

18. Алехина, Н. Н. Исследование микроструктуры теста и хлеба из биоактивированного зерна пшеницы / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, И. А. Бакаева // Хлебопродукты. - 2016. - № 1. - С. 18-19 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,12 п.л.).

19. Алехина, Н. Н. Зерновой хлеб с продуктами переработки хмеля / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, Н. В. Урывская // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2016. - № 12. - С. 31-33 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,2 п.л.).

20. Алехина, Н. Н. Влияние хмелевой композиции на качество зернового хлеба / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, Н. В. Урывская // Пищевая промышленность. - 2017. - № 6. - С. 29-31 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,2 п.л.).

21. Алехина, Н. Н. Исследование влияния хмелевой композиции на микробиологические показатели качества хлеба из биоактивированного зерна пшеницы / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, Н. В. Урывская // Хлебопродукты. - 2017. - № 6. - С. 60-61 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,2 п.л.).

22. Алехина, Н. Н. Применение муки из отрубей гречишных в технологии зернового хлеба / Н. Н. Алехина // Хлебопродукты. - 2017. - № 10. - С. 36-37 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,25 п.л.).

23. Алехина, Н. Н. Исследование качества зернового хлеба, приготовленного на основе хлебопекарной смеси / Н. Н. Алехина // Хлебопродукты. - 2018. - № 10. - С. 50-52 (0,37 п.л.; лично соискателем – 0,37 п.л.).

24. Оценка пищевой ценности хлебопекарных смесей и зернового хлеба на их основе / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, И. М. Жаркова [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. - 2019. - № 1. - С. 10-14 (0,63 п.л.; лично соискателем – 0,35 п.л.).

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и входящих в международную базу данных Scopus

25. Санитарно-технологические приемы производства зернового хлеба с использованием хмелевой композиции / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева // Санитария и гигиена. - 2015. - Т. 94. - № 9. - С. 61-63 (0,37 п.л.; лично соискателем – 0,25 п.л.).

26. Пономарева, Е. И. Хлеб из биоактивированного зерна пшеницы повышенной пищевой ценности / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева // Вопросы питания. - 2016. - Т. 85. - № 2. - С. 116-121 (0,62 п.л.; лично соискателем – 0,3 п.л.).

27. Assessment of the bioavailability of minerals and antioxidant activity of grain bread in the experiment in vivo / N. N. Alekhina, E. I. Ponomareva, I. M. Zharkova [et al.] // Russian Open Medical Journal. – 2018. – Vol. 7(4). – P. 1-5 (0,62 п.л.; лично соискателем – 0,32 п.л.).

Статьи в журналах, входящих в международную базу данных Scopus

28. Grain Bread with Buckwheat Bran Flour for a Healthy Diet / N. N. Alekhina, E. I. Ponomareva, S. I. Lukina [et al.] // Journal of Engineering and Applied Sciences 11 (12). – 2016. – P. 2623-2627 (0,5 п.л.; лично соискателем – 0,3 п.л.).

Монографии, учебные пособия

29. Практикум по введению в технологии продуктов питания (оценка качества сырья): учеб. пособие / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, С. И. Лукина [и др.]. – Воронеж: ВГУИТ, 2013. – 192 с. (12 п.л.; лично соискателем – 2,4 п.л.).

30. Технология хлебобулочных изделий (лабораторный практикум): учеб. пособие / Е. И. Пономарева, С. И. Лукина, Н. Н. Алехина [и др.]. – Воронеж: ВГУИТ, 2014. – 280 с. (17,5 п.л.; лично соискателем – 3,5 п.л.).

31. Пономарева, Е. И. Технология хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки с зерном ржи: монография / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, Л. В. Логунова. – Воронеж: ВГУИТ, 2015. – 172 с. (10,8 п.л.; лично соискателем – 3,6 п.л.).

32. Алехина, Н. Н. Хлеб повышенной пищевой ценности на основе закваски из биоактивированного зерна пшеницы: монография / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, И. А. Бакаева. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – 224 с. (14 п.л.; лично соискателем – 4,7 п.л.).

33. Практикум по общей технологии отрасли (оценка качества сырья): учеб. пособие / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, С. И. Лукина [и др.]. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. – 300 с. (18,8 п.л.; лично соискателем – 4,7 п.л.).

34. Практикум по технологии отрасли (технология хлебобулочных изделий): учеб. пособие / Е. И. Пономарева, С. И. Лукина, Н. Н. Алехина [и др.]. – СПб. : Лань, 2017. – 316 с. (19,8 п.л.; лично соискателем – 4,0 п.л.).

Статьи в журналах

35. Изменение реологических свойств зерна в зависимости от параметров его подготовки / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, А. А. Журавлев [и др.] // Кондитерская сфера. – 2012. – № 5. – С. 76-79 (0,37 п.л.; лично соискателем – 0,2 п.л.).

36. Мука из жмыха зародышей пшеницы – перспективное сырье для производства хлебобулочных изделий / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева [и др.] // Международный журнал эксперимен-

тального образования. – 2015. - № 3. – С. 397 (0,12 п.л.; лично соискателем – 0,03 п.л.).

37. Алехина, Н. Н. Сравнительная оценка качества зернового хлеба на сухих заквасках / Н. Н. Алехина, Н. В. Урывская // Журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - № 2. - С. 460-464 (0,5 п.л.; лично соискателем – 0,35 п.л.).

38. Алехина, Н. Н. Повышение микробиологической устойчивости зернового хлеба / Н. Н. Алехина, Н. В. Урывская // Современные научные исследования и разработки. – 2016. - № 3 (3). – С. 145-147 (0,37 п.л.; лично соискателем – 0,25 п.л.).

39. Алехина, Н. Н. Определение активности дрожжей в тесте из биоактивированного зерна пшеницы / Н. Н. Алехина, Н. В. Урывская // Современные научные исследования и разработки. - 2016. - № 5 (5). - С. 118-120 (0,37 п.л.; лично соискателем – 0,25 п.л.).

40. Биотехнологический потенциал хлебобулочных изделий из биоактивированного зерна пшеницы [Электронный ресурс] / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, Н. В. Урывская [и др.] // Прикладные информационные аспекты медицины, 2016. - Т. 19, № 4. - С. 4-10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27535064> (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,3 п.л.).

41. Алехина, Н. Н. Обоснование выбора обогатителей растительного происхождения в технологии зернового хлеба [Электронный ресурс] / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева // Агрофорсайт. – 2017. – № 2. – С. 1-7. Режим доступа: http://agroforsait.ru/wpcontent/uploads/2017/06/Алехина_сайт.pdf (0,87 п.л.; лично соискателем – 0,6 п.л.).

42. Алехина, Н. Н. Управление качеством зернового хлеба на основе принципов ХАССП / Н. Н. Алехина, И. С. Быковская // Современные научные исследования и разработки. – 2017. - № 5 (13). – С. 451-453 (0,37 п.л.; лично соискателем – 0,25 п.л.).

43. Алехина, Н. Н. Хмелевые композиции в технологии зернового хлеба / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, С. И. Лукина // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК. - 2018. - № 2 (22). – С. 21-26 (0,62 п.л.; лично соискателем – 0,4 п.л.).

44. Алехина, Н. Н. Хлеб на основе биоактивированных злаковых культур для функционального питания / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, И. М. Жаркова // Кондитерская и хлебопекарная промышленность. - 2018. - Т. 75. - № 3. - С. 50-52 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,15 п.л.).

Патенты на изобретения

45. Пат. 2450523 РФ, МПК⁶ А 21 D 8/00, А 21 D 13/02. Способ производства хлеба повышенной пищевой ценности из смеси ржаной и пшеничной муки / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Маслов Е. В., Поздняко-

ва Н. Н., Логунова Л. В. - № 2010147436/13; заявл. 19.11.2010; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14 (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,35 п.л.).

46. Пат. 2451450 РФ, МПК⁶ А 21 D 13/02, А 21 D 10/04, А 21 D 8/02. Способ производства хлеба повышенной пищевой ценности из смеси ржаной и пшеничной муки / Магомедов Г. О., Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Маслов Е. В. - № 2010147434/13; заявл. 19.11.2010; опубл. 27.05.2012, Бюл. № 15 (1 п.л.; лично соискателем – 0,3 п.л.).

47. Пат. 2485781 РФ, МПК⁶ А 21 D 8/00, А 21 D 2/36. Способ производства хлеба повышенной пищевой ценности из смеси ржаной и пшеничной муки / Пономарева Е. И., Корнеева О. С., Алехина Н. Н., Черенков Д. А., Логунова Л. В. - № 2011154707/13; заявл. 30.12.2011; опубл. 27.06.2013, Бюл. № 18 (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,35 п.л.).

48. Пат. 2486755 РФ, МПК⁶ А 21 D 13/02, А 21 D 8/02. Способ производства хлеба повышенной пищевой ценности из смеси ржаной и пшеничной муки / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Логунова Л. В. - № 2012104060/13; заявл. 06.02.2012; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 19 (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,35 п.л.).

49. Пат. 2516598 РФ, МПК⁶ А 21 D 13/02. Способ производства зернового хлеба / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Журавлева И. А., Саврасова С. В. - № 2012149536/13; заявл. 21.11.2012; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14 (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,45 п.л.).

50. Пат. 2524827 РФ, МПК⁶ А 21 D 13/02. Способ производства зернового хлеба / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Журавлева И. А. - № 2013107452/13; заявл. 20.02.2013; опубл. 10.08.2014, Бюл. № 22 (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,45 п.л.).

51. Пат. 2560192 РФ, МПК⁶ А 21 D 13/02. Способ производства зернового хлеба / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Бакаева И. А., Краснова И. Ю. - № 2014119203/13; заявл. 13.05.2014; опубл. 20.08.2015, Бюл. № 23 (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,45 п.л.).

52. Пат. 2560618 РФ, МПК⁶ А 21 D 13/02. Способ производства зернового хлеба повышенной пищевой ценности / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Бакаева И. А., Краснова И. Ю. - № 2014132827/13; заявл. 08.08.2014; опубл. 20.08.2015, Бюл. № 23 (1 п.л.; лично соискателем – 0,45 п.л.).

53. Пат. 2569020 РФ, МПК⁶ А 21 D 8/02, А 21 D 13/02. Способ производства зернового хлеба / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Бакаева И. А., Филюшкина А. С., Олейникова Н. В. - № 2014132678/13; заявл. 07.08.2014; опубл. 20.11.2015, Бюл. № 32 (1,1 п.л.; лично соискателем – 0,5 п.л.).

54. Пат. 2574488 РФ, МПК⁶ А 21 D 8/02, А 21 D 2/38, А 21 D 13/02. Способ производства хлеба повышенной пищевой ценности из смеси

ржаной и пшеничной муки / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Юнаковская Ю. В., Левшина Е. А. - № 2014132723/13; заявл. 07.08.2014; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 4 (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,55 п.л.).

55. Пат. 2583615 РФ, МПК⁶ А 23 L 7/10. Способ подготовки отрубей гречишных для пищевых целей / Чертов Е. Д., Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Лукина С. И., Кустов В. Ю., Юнаковская Ю. В., Левшина Е. А. - № 2015102906/13; заявл. 29.01.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 13 (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,35 п.л.).

56. Пат. 2611849 РФ, МПК⁶ А 21 D 13/02. Способ производства зернового хлеба из замороженных полуфабрикатов / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н. - № 2015147512; заявл. 05.11.2015; опубл. 01.03.2017, Бюл. № 7 (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,5 п.л.).

57. Пат. 2619277 РФ, МПК⁶ А 21 D 13/02. Способ производства зернового хлеба / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Напрасникова А. А., Быковская И. С. - № 2015147510; заявл. 05.11.2015; опубл. 12.05.2017, Бюл. № 14 (1 п.л.; лично соискателем – 0,6 п.л.).

58. Пат. 2630501 РФ, МПК⁶ А 21 D 8/00, А 21 D 2/36. Способ получения сухой закваски «Хмелевая злаковая» / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Урывская Н. В., Черных Н. А. - № 2016143028; заявл. 01.11.2016; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 26 (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,35 п.л.).

59. Пат. 2674593 РФ, МПК⁶ А 21 D 13/02. Способ получения зернового хлеба / Алехина Н. Н., Печенкина А. А., Головина Н. А., Пожидаева К. С. - № 2017140401; заявл. 21.11.2017; опубл. 11.12.2018, Бюл. № 35 (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,7 п.л.).

60. Пат. 2676315 РФ, МПК⁶ А 21 D 13/02. Способ получения хлебопекарной смеси / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Жаркова И. М., Полянский К. К., Быковская И. С. - № 2017143589; заявл. 13.12.2017; опубл. 27.12.2018, Бюл. № 36 (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,45 п.л.).

Подписано в печать 12.02.2020. Формат 60x84¹/₁₆.
Усл.печ.л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ 09.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»
Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
Адрес университета и отдела полиграфии
394036, Воронеж, пр. Революции, 19