

На правах рукописи



Камартдинова Дарья Рафаэловна

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ЗАКВАСКИ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНОВОГО ХЛЕБА ИЗ ПОЛБЫ**

4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном
бюджетном образовательном учреждении высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук
Китаевская Светлана Владимировна (Россия),
профессор кафедры технологии пищевых
производств ФГБОУ ВО «Казанский
национальный исследовательский
технологический университет»

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Волкова Галина Сергеевна (Россия),
заведующий отделом биотехнологии ферментов,
дрожжей, органических кислот и биологически
активных добавок ВНИИПБТ – филиала
ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

доктор технических наук, профессор РАН
Мартиросян Владимир Викторович (Россия),
заместитель директора по научной работе
ФГАНУ «Научно-исследовательский институт
хлебопекарной промышленности»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Красноярский государственный
аграрный университет»

Защита диссертации состоится 28 ноября 2025 г. в 13:30 на заседании
диссертационного совета 24.2.425.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Уральский
государственный экономический университет» по адресу: 620144, г. Екатеринбург,
ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет», зал диссертационных советов (ауд. 150).

Отзывы на автореферат, заверенные гербовой печатью, просим направлять
по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ГСП-985, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», ученому
секретарю диссертационного совета 24.2.425.03.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО
«Уральский государственный экономический университет». Автореферат
размещен на официальном сайте ВАК Минобрнауки России:
<https://vak.minobrnauki.gov.ru> и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»: <http://science.usue.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

 Л. А. Донскова

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Современные достижения в прикладной биотехнологии значительно расширили понимание функционально-технологических свойств молочнокислых бактерий (МКБ), а также области их применения в различных пищевых системах.

В настоящее время ведутся интенсивные научные исследования в области выделения и характеристики новых штаммов МКБ с промышленно значимыми свойствами: высокой жизнеспособностью и ферментативной активностью, выраженной антимикробной активностью, способностью подавлять рост плесневых грибов и патогенных бактерий. Особое значение приобретают исследования, направленные на комплексную оценку и отбор перспективных культур лактобацилл для формирования новых заквасочных составов с целью решения сложных биотехнологических задач в хлебопекарной промышленности.

Современные тенденции в хлебопечении требуют разработки новых заквасочных консорциумов, адаптированных к специфике сырья и технологическим условиям производства, способствующих снижению влияния антипитательных факторов и улучшению усвояемости аминокислот, минеральных веществ и витаминов, что приобретает особую значимость в условиях растущего спроса на продукты здорового питания с повышенной пищевой ценностью.

Перспективным и востребованным направлением развития хлебопекарной промышленности является разработка новых технологий зернового хлеба, расширение сырьевых источников, повышение качества готовой продукции. Использование различных зерновых культур в хлебопечении позволяет сохранить в хлебе биологически активные вещества зерна: лимитирующие аминокислоты, витамины, клетчатку, минеральные вещества, органические кислоты и ферменты. Зерно полбы характеризуется сбалансированным химическим составом и представляет особый интерес для производителей хлебобулочных изделий, что открывает перспективы для расширения ассортимента зернового хлеба.

Существенной проблемой при производстве зернового хлеба является снижение потребительских характеристик готовой продукции, связанное с наличием зерновых оболочек и относительно низким содержанием клейковины в тесте, что обуславливает необходимость дальнейшего совершенствования технологических процессов, главным образом путем разработки и применения высокоэффективных заквасок молочнокислых бактерий.

Степень разработанности темы. Значительный научно-практический вклад в развитие и совершенствование технологических этапов производства продуктов питания с использованием молочнокислых бактерий внесли отечественные и зарубежные авторы Г. С. Волкова, А. В. Бегунова, А. Л. Брюханов, А. С. Дерунец, Г. Н. Дудикова, А. Н. Иркитова, Е. В. Ники-

тина, Е. Д. Рожнов, Е. М. Сербя, Ю. В. Соловьева, Л. Г. Стоянова, М. Н. Школьникова, N. O. Arcanjo, A. Corsetti, M. Gobbetti, K. Katina, L. Sun, T. Zotta и др.

Теоретические и научно-практические основы совершенствования технологии зернового хлеба изложены в трудах Н. Н. Алехиной, И. А. Баженовой, Т. Г. Богатыревой, Л. Г. Ермош, С. Я. Корячкиной, Е. А. Кузнецовой, Л. И. Кузнецовой, Н. В. Лабутиной, И. В. Матвеевой, В. А. Помозовой, Е. И. Пономаревой, И. Ю. Потороко, О. А. Савкиной, Е. В. Хмелевой, О. В. Чугуновой, М. А. Яновой, E. Escarnot, E. Marconi, M. Mencin, H. Zielinski и др.

Таким образом, исследование и создание эффективного состава консорциума молочнокислых бактерий для хлебопекарной промышленности представляет собой актуальное и перспективное направление, ориентированное на комплексное решение задач повышения качества и безопасности зернового хлеба, импортозамещения зарубежных заквасок и создания инновационных продуктов повышенной пищевой ценности.

Цель диссертационной работы – обоснование и создание закваски молочнокислых бактерий с высокими функционально-технологическими свойствами для производства зернового хлеба из полбы.

Для достижения цели исследования были поставлены следующие **задачи**:

1) изучить функционально-технологические свойства молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus* – *L. fermentum* 10, *L. acidophilus* 9, *L. casei* 16, *L. casei* 32, *L. casei* МДП-1, *L. plantarum* 24, *L. plantarum* 71 и *L. plantarum* 131 – и определить перспективные штаммы для хлебопекарной промышленности;

2) обосновать и разработать состав консорциума молочнокислых бактерий для применения в качестве закваски в технологии зернового хлеба;

3) исследовать влияние ферментированной зерновой массы на формирование качественных характеристик полуфабрикатов и зернового хлеба из полбы;

4) определить оптимальные технологические параметры производства зернового хлеба из полбы на заквасках;

5) обосновать режимы хранения ферментированной зерновой массы из полбы в охлажденном и замороженном виде;

6) разработать техническую документацию на новый вид зернового хлеба из полбы, провести производственные испытания и рассчитать экономическую эффективность.

Научная новизна. Работа содержит элементы научной новизны в соответствии с п. 1, 14, 21 паспорта научной специальности 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ.

1. Впервые проведена комплексная характеристика перспективных штаммов молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus* – *L. fermentum* 10,

L. acidophilus 9, *L. casei* 16, *L. casei* 32, *L. casei* МДП-1, *L. plantarum* 24, *L. plantarum* 71 и *L. plantarum* 131 для производства зернового хлеба с точки зрения их антагонистической способности, кислотообразующей, ферментативной и антиоксидантной активности, устойчивости к неблагоприятным факторам среды (п. 1 паспорта научной специальности 4.3.5).

2. На основе исследования биотехнологических характеристик и математического анализа главных компонент разработан консорциум молочнокислых бактерий, характеризующийся высоким уровнем кислотообразующей, фитазной, антиоксидантной активности и предназначенный для использования в качестве закваски при производстве зернового хлеба (п. 14, 21 паспорта научной специальности 4.3.5).

3. Теоретически обоснована и экспериментально доказана эффективность внедрения стадии ферментации диспергированной зерновой массы из полбы разработанным консорциумом молочнокислых бактерий при производстве зернового хлеба, что обеспечивает улучшение органолептических, физико-химических, структурно-механических свойств готовых изделий и повышает конкурентоспособность продукции (п. 1, 14 паспорта научной специальности 4.3.5).

4. Впервые выявлены закономерности изменения показателей качества зернового хлеба из полбы в зависимости от дозировки ферментированной зерновой массы и продолжительности процесса ферментации, что позволяет оптимизировать технологический процесс, повысить потребительские характеристики и микробиологическую чистоту зернового хлеба из полбы (п. 14 паспорта научной специальности 4.3.5).

Новизна технических решений подтверждена патентом РФ «Способ производства зернового хлеба» (№ 2829513).

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в расширении научных знаний в области создания консорциумов микроорганизмов для пищевой промышленности, получении новых данных по оценке качества и эффективности применения зерна полбы в хлебопечении, углублении базы знаний о применении заквасок молочнокислых бактерий в практике производства зернового хлеба.

Практическая значимость. На основе проведенных исследований создана закваска молочнокислых бактерий, обладающая значительным потенциалом для импортозамещения в хлебопекарной промышленности. Внедрение данной закваски позволяет получить хлебопекарную продукцию с высокими потребительскими характеристиками, расширить ассортимент зернового хлеба, увеличить конкурентоспособность продукции.

Разработаны рекомендации по хранению ферментированной зерновой массы из полбы, сроки хранения составляют 5 и 21 сут при температуре $(2 \pm 2)^\circ\text{C}$ и минус $18\text{--}20^\circ\text{C}$ соответственно.

Разработаны и утверждены технические условия на закваску молочнокислых бактерий для зерновых сортов хлеба (ТУ 10.89.19.300-002-02069639-2025).

Разработана и утверждена техническая документация: технические условия, технологическая инструкция и рецептура на новый вид зернового хлеба из полбы «Борай» (ТУ 10.71.11-002-2005989134-2024).

Практическая значимость работы подтверждена результатами промышленной апробации в условиях пекарни малой мощности (ИП Рамеев Р. Р., г. Набережные Челны, Республика Татарстан), которые показали ее эффективность за счет получения зернового хлеба высокого качества.

Материалы диссертации используются в образовательном процессе кафедры технологии пищевых производств ФГБОУ ВО «КНИТУ» при подготовке студентов по направлениям 19.03.02, 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья» и 19.03.04, 19.04.04 «Технология и организация продукции общественного питания».

Методология и методы исследования. Методологической основой исследований явились труды российских и зарубежных ученых, направленные на анализ биотехнологического потенциала молочнокислых бактерий, создание консорциума молочнокислых бактерий, изучение химического состава и пищевой ценности зерна полбы. Для решения поставленных задач применяли современные общепринятые и специальные методы исследования молочнокислых бактерий, сырья, полуфабрикатов и хлебобулочных изделий. Исследования проводились в 3–5-кратной повторности.

Основные исследования выполнены на кафедре технологии пищевых производств ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Положения, выносимые на защиту:

- результаты оценки функционально-технологических свойств молочнокислых бактерий с целью выявления перспективных штаммов для применения в хлебопекарной промышленности;
- состав консорциума молочнокислых бактерий и его влияние на процесс ферментации диспергированной зерновой массы из полбы;
- математическая модель и ее практическая реализация для определения оптимальных технологических параметров и рецептурного состава зернового хлеба из полбы;
- обоснование внедрения стадии молочнокислой ферментации при производстве зернового хлеба из полбы;
- результаты оценки показателей качества зернового хлеба из полбы, выработанного с использованием предлагаемой закваски молочнокислых бактерий.

Достоверность результатов исследования подтверждается проведением экспериментов в многократной повторности с применением стандартных и специальных методов исследования, статистической обработкой результатов эксперимента с использованием компьютерных программ

Microsoft Excel, Statistica 12 (Statsoft), GraphPad Prism8, программного обеспечения Origin, согласованностью результатов исследований с теоретическими данными, апробацией полученных результатов в промышленности и опубликованием основных положений работы в научных изданиях.

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на научно-практических мероприятиях в Санкт-Петербурге (2020), Уфе (2020), Майкопе (2020), Орле (2021), Ульяновске (2022), Барнауле (2024), (Казани (2021, 2023, 2025)).

Личное участие автора заключается в теоретическом обосновании актуальности исследования, формулировании цели и постановке задач, планировании и проведении экспериментов, обработке полученных данных, формулировании выводов, подготовке научных публикаций, представлении результатов работы на конференциях.

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 17 научных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России; 1 статья в издании, входящем в международные реферативные базы данных и системы цитирования; получен 1 патент РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и пяти приложений. Работа изложена на 172 страницах и содержит 51 таблицу и 28 рисунков. Список литературы включает 229 наименований, в том числе 116 иностранных источников.

Благодарности. Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору О. А. Решетник за внимательное отношение к работе, ценные консультации и поддержку на всех этапах исследования; сотрудникам Казанского федерального университета за помощь в проведении экспериментальных исследований для определения микроструктуры полуфабрикатов и хлеба.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе** представлен анализ литературы, описан биотехнологический потенциал МКБ и их роль при производстве хлеба. Рассмотрено значение зернового хлеба в питании, приведена характеристика зерна полбы и перспективы его применения при производстве хлебобулочных изделий. Обоснована необходимость применения заквасок МКБ в технологии зернового хлеба.

Во **второй главе** описаны объекты и методы исследований, представлена схема исследований (рисунок 1). Экспериментальные исследования выполнялись с 2020 по 2024 г. на базе кафедры технологии пищевых производств ФГБОУ ВО «КНИТУ».

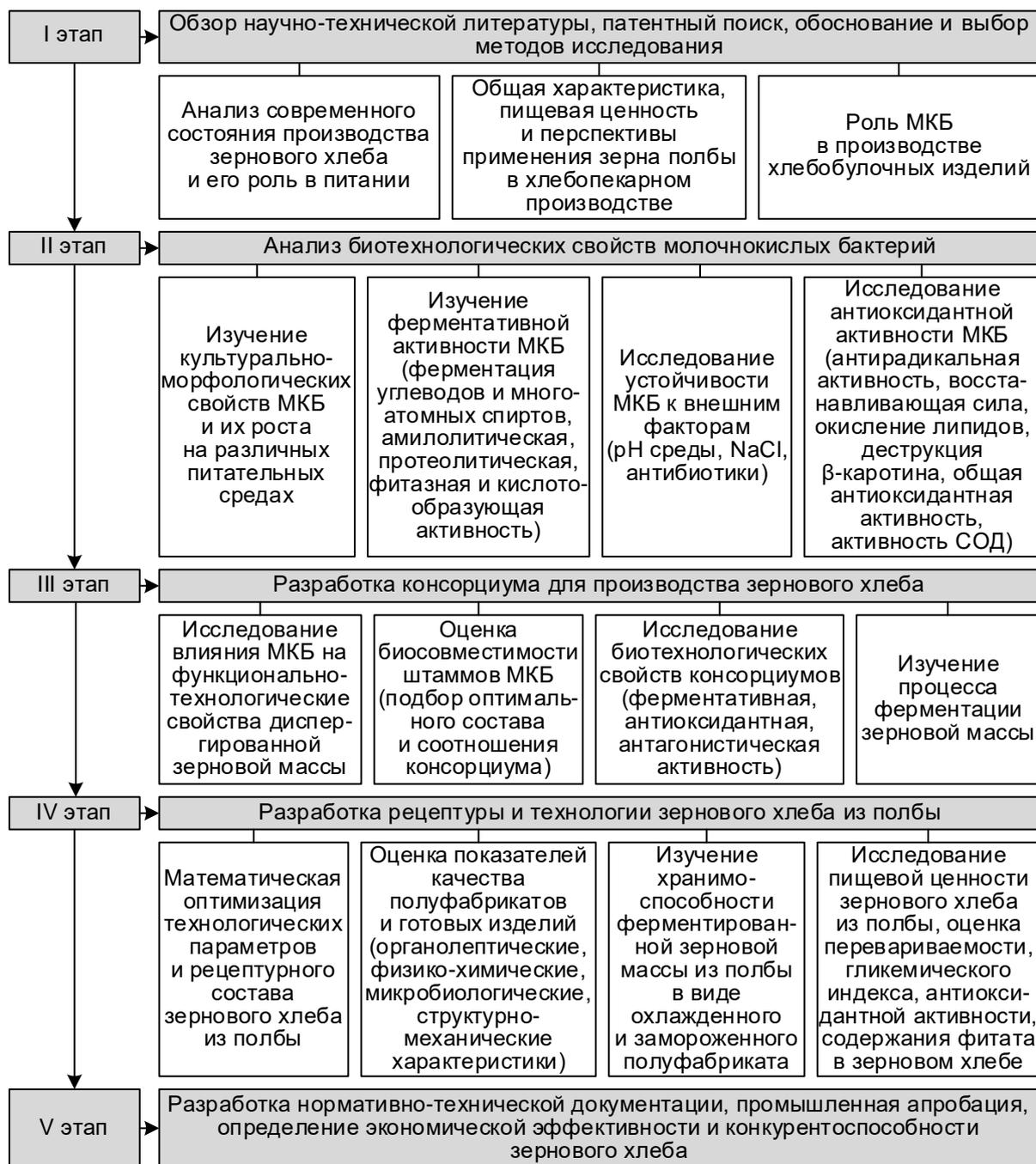


Рисунок 1 – Схема экспериментальных исследований

На разных этапах работы объектами исследования являлись: культуры МКБ из коллекции микроорганизмов кафедры ТПП ФГБОУ ВО «КНИТУ» – *L. fermentum* 10, *L. acidophilus* 9, *L. casei* 16, *L. casei* 32, *L. plantarum* 24 и Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов – *L. casei* МДП-1, *L. plantarum* 71, *L. plantarum* 131; консорциумы МКБ; ферментированная зерновая масса из полбы (ФЗМ); охлажденные и замороженные полуфабрикаты и зерновой хлеб из полбы, выработанный с применением заквасок МКБ.

Для получения ФЗМ зерно полбы очищали от примесей, промывали, выдерживали в питьевой воде до набухания (18–20 °С, 20–24 ч, с периодической сменой воды), затем повторно промывали, проращивали 10–12 ч до появления ростков (не более 1,5 мм), измельчали на диспергаторе РДН-Х (диаметр решеток не более 2 мм). К измельченному зерну добавляли лиофильно высушенные закваски МКБ (1 % к зерновой массе) и проводили ферментацию (37 °С, 4 ч).

Для получения опытных образцов хлеба ФЗМ смешивали с рецептурными компонентами: мука полбяная цельнозерновая, соль пищевая, дрожжи хлебопекарные прессованные, вода.

При выполнении экспериментальной части работы использовали органолептические, физико-химические, спектрофотометрические и микробиологические методы. Антагонистическую активность МКБ оценивали методом диффузии в агар с измерением зон ингибирования роста. Антиоксидантную активность МКБ определяли по антирадикальной активности и восстанавливающей силе, способности ингибировать процессы окисления липидов и деструкции β -каротина. Анализ профиля текстуры проводили с помощью структурометра СТ-2. Цветовые характеристики хлебобулочных изделий измеряли с помощью колориметра Chroma Meter. Перевариваемость белков хлеба определяли ферментативным методом *in vitro*. Гликемический индекс хлеба определяли по изменению уровня глюкозы в крови при помощи глюкометра Contour TS. Для сканирующей электронной микроскопии использовали микроскоп Merlin. Статистическую обработку полученных данных и построение графиков осуществляли с использованием программных средств Microsoft Office Excel, Statistica 12 (Statsoft), GraphPad Prism8, программного обеспечения Origin.

В третьей главе представлены результаты оценки биотехнологического потенциала восьми штаммов МКБ рода *Lactobacillus* (таблица 1).

Таблица 1 – Биотехнологический потенциал штаммов МКБ

Штамм	Конечная концентрация биомассы в среде MRS, г/100 см ³	Активность штаммов в молоке		Амилолитическая активность, ед. акт/см ³	Протеолитическая активность, мкг тирозина/см ³ ·мин	Фитазная активность, ед/см ³
		Активная кислотность, pH	Титруемая кислотность, °Т			
<i>L. fermentum</i> 10	5,78 ± 0,11	4,70 ± 0,05	104 ± 3	110,38 ± 0,88	25,92 ± 1,30	0,09 ± 0,01
<i>L. acidophilus</i> 9	5,66 ± 0,15	4,62 ± 0,05	119 ± 4	71,88 ± 0,58	17,24 ± 0,85	0,25 ± 0,02
<i>L. casei</i> 16	5,46 ± 0,16	4,70 ± 0,05	108 ± 3	97,81 ± 0,78	20,18 ± 0,97	0,12 ± 0,01
<i>L. casei</i> 32	5,92 ± 0,14	4,59 ± 0,04	120 ± 4	101,17 ± 0,81	30,04 ± 1,47	0,29 ± 0,02
<i>L. casei</i> МДП-1	5,85 ± 0,12	4,68 ± 0,05	110 ± 3	79,18 ± 0,63	17,54 ± 0,81	0,21 ± 0,01
<i>L. plantarum</i> 24	5,27 ± 0,12	4,77 ± 0,06	112 ± 4	96,72 ± 0,77	11,45 ± 0,58	0,15 ± 0,01
<i>L. plantarum</i> 71	5,71 ± 0,13	4,65 ± 0,05	106 ± 3	98,91 ± 0,79	16,76 ± 0,73	0,28 ± 0,02
<i>L. plantarum</i> 131	5,89 ± 0,18	4,41 ± 0,05	118 ± 3	89,41 ± 0,72	9,10 ± 0,42	0,18 ± 0,02

Культивирование МКБ на питательной среде MRS в течение 24 ч при температуре 37 °С показало, что конечная концентрация биомассы достигает 5,27–5,92 г/100 см³, максимальные значения демонстрируют штаммы *L. casei* 32, *L. casei* МДП-1 и *L. plantarum* 131.

В результате исследования активности штаммов МКБ в молоке установлено, что активная кислотность штаммов составляет 4,41–4,77 ед. рН, уровень титруемой кислотности через 24 ч культивирования достигает значений от 104 до 120 °Т. Наиболее активными кислотообразователями являются штаммы *L. casei* 32, *L. plantarum* 131 и *L. acidophilus* 9.

Выявлено, что штаммы *L. fermentum* 10 и *L. casei* 32 отличаются высоким уровнем амилалитической и протеолитической активности. Штаммы *L. casei* 32, *L. plantarum* 71, *L. acidophilus* 9, характеризуются высоким уровнем фитазной активности и могут применяться при производстве продуктов питания с целью снижения содержания фитиновой кислоты, увеличения биодоступности минеральных веществ и повышения пищевой ценности готовых изделий.

Установлено, что все исследуемые штаммы проявляют высокую антагонистическую активность в отношении *E. coli* и *B. subtilis*, вызывающих порчу хлебобулочных изделий (таблица 2).

Таблица 2 – Антагонистическая активность штаммов МКБ

Штамм	Диаметр зоны ингибирования роста, мм								
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Proteus vulgaris</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Penicillium chrysogenum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Candida guilliermondii</i>
<i>L. fermentum</i> 10	28±2	14±1	2±1	2±1	21±1	12±1	15±1	16±1	10±1
<i>L. acidophilus</i> 9	16±1	0	0	8±1	18±2	0	0	0	0
<i>L. casei</i> 16	20±2	12±1	0	9±1	18±2	6±1	0	8±1	0
<i>L. casei</i> 32	27±2	12±1	8±1	10±1	25±2	14±1	12±1	10±1	17±1
<i>L. casei</i> МДП-1	19±2	10±1	2±1	9±1	22±2	6±1	6±1	10±1	7±1
<i>L. plantarum</i> 24	22±1	8±1	3±1	4±1	24±2	8±1	10±1	8±1	10±1
<i>L. plantarum</i> 71	14±2	6±2	0	3±1	16±1	2±1	2±1	0±1	0±1
<i>L. plantarum</i> 131	15±2	2±2	0	5±1	19±2	6±1	6±1	4±1	2±1

Наиболее широким спектром антибактериального действия отличаются штаммы *L. fermentum* 10, *L. casei* 32 и *L. plantarum* 24. Все исследуемые штаммы, кроме *L. acidophilus* 9, проявляют фунгицидное действие в отношении плесневых грибов и дрожжей.

Установлено, что устойчивость штаммов МКБ к разным значениям рН среды зависит как от вида лактобацилл, так и от конкретного штамма. Оптимальные значения рН, при которых выживает порядка 90–100 % мик-

роорганизмов, находятся в диапазоне 5,0–7,0. Наибольшей кислотоустойчивостью характеризуются штаммы *L. acidophilus* 9 и *L. fermentum* 10.

Выявлено, что наибольшая степень выживаемости у всех штаммов наблюдается при концентрации раствора хлорида натрия 2% и сохраняется на уровне 95–100% (рисунок 2). Увеличение концентрации соли до 6,5% приводит к снижению роста микроорганизмов (16–47%). Показано, что штаммы *L. casei* 32 и *L. plantarum* 24 более устойчивы к различным концентрациям хлорида натрия.

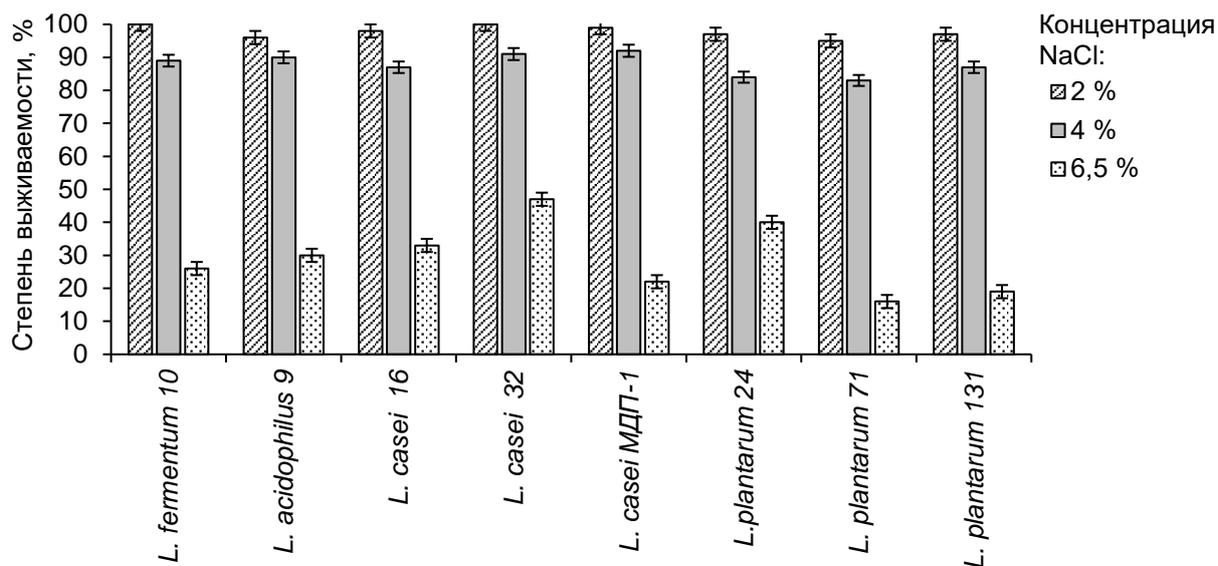


Рисунок 2 – Выживаемость штаммов МКБ в присутствии NaCl

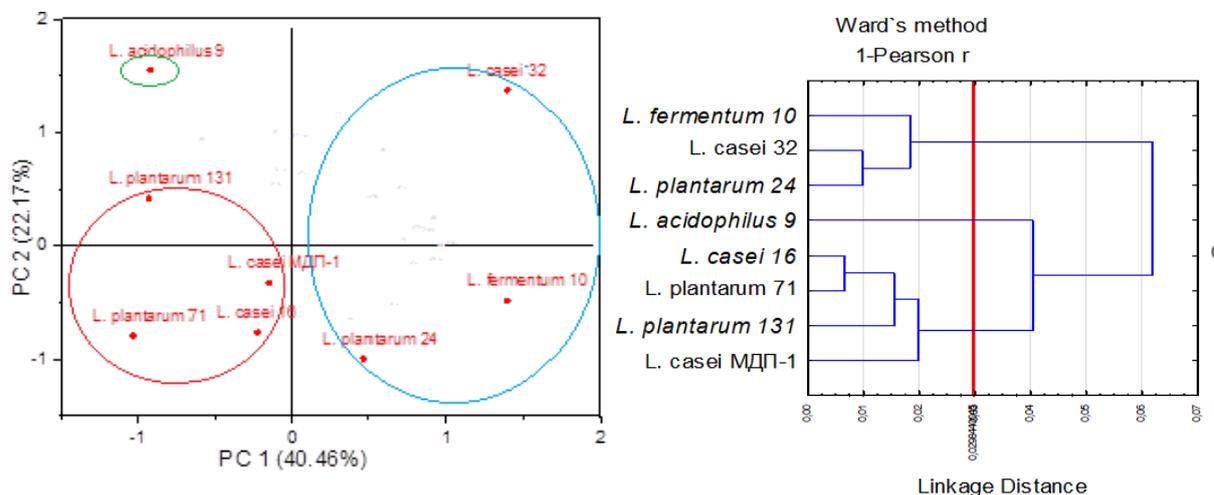
Установлено, что все исследуемые штаммы проявляют антирадикальную активность, восстанавливающую силу, способны оказывать ингибирующее действие на процессы окисления липидов и деструкции β-каротина (таблица 3).

Таблица 3 – Антиоксидантная активность штаммов МКБ

Штамм	Антирадикальная активность, %		Степень ингибирования окисления липидов, %		Степень ингибирования деструкции β-каротина, %		Восстанавливающая сила, %	
	ВКЭ	КЖ	ВКЭ	КЖ	ВКЭ	КЖ	ВКЭ	КЖ
<i>L. fermentum</i> 10	60,8	49,2	64,9	78,0	87,4	83,3	40,1	39,2
<i>L. acidophilus</i> 9	27,6	29,1	59,5	69,7	63,8	64,1	45,3	38,8
<i>L. casei</i> 16	42,7	39,0	53,0	67,4	69,7	78,5	32,7	34,6
<i>L. casei</i> 32	84,7	78,2	62,3	75,1	82,1	94,5	57,3	52,1
<i>L. casei</i> МДП-1	47,2	40,4	34,7	35,9	79,1	82,4	34,4	33,1
<i>L. plantarum</i> 24	60,6	73,2	52,7	74,5	80,3	81,2	44,7	39,0
<i>L. plantarum</i> 71	54,3	56,7	40,5	42,1	54,9	63,8	30,2	28,7
<i>L. plantarum</i> 131	58,1	55,0	48,4	54,6	50,5	56,9	40,5	36,9

Штаммы *L. fermentum* 10 и *L. casei* 32 характеризуются максимальным уровнем активности супероксиддисмутазы (2,16 и 2,07 ед/мг белка). Наиболее эффективными механизмами антиоксидантной защиты обладают штаммы *L. casei* 32, *L. plantarum* 24 и *L. fermentum* 10.

Математический анализ биотехнологических показателей позволил условно разделить исследуемые штаммы на три группы (рисунок 3). Установлено, что распределение по группам зависит от свойств конкретного штамма. В первую группу объединены штаммы *L. fermentum* 10, *L. casei* 32 и *L. plantarum* 24, характеризующиеся высокой корреляцией по ферментативной и антиоксидантной активности, устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды. Штамм *L. acidophilus* 9 выделен во вторую группу, так как по биотехнологическим характеристикам значительно отличается от других штаммов. Остальные штаммы отнесены в третью группу.



а – визуализация штаммов в плоскости главных компонент с выделенными кластерами

б – дендрограмма кластеризации

Рисунок 3 – Анализ главных компонент биотехнологических свойств штаммов МКБ

Результаты оценки биотехнологического потенциала МКБ позволяют рекомендовать штаммы *L. fermentum* 10, *L. acidophilus* 9, *L. casei* 32, *L. plantarum* 24, *L. plantarum* 131 как наиболее перспективные для применения при производстве зернового хлеба. Установлено, что штаммы *L. casei* 32, *L. plantarum* 131 и *L. acidophilus* 9 обладают высокой кислотообразующей активностью, *L. fermentum* 10 отличается наибольшей амилолитической активностью (110,38 ед. акт/см³), *L. casei* 32 – протеолитической активностью (30,04 мкг тирозина/см³·мин) и фитазной активностью (0,29 ед/см³), *L. plantarum* 24 демонстрирует высокую степень устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды.

В четвертой главе приведено обоснование состава консорциума МКБ для зернового хлеба.

Результаты оценки биосовместимости штаммов свидетельствуют о возможности совместного культивирования отдельных штаммов в подобранных парах (рисунок 4).

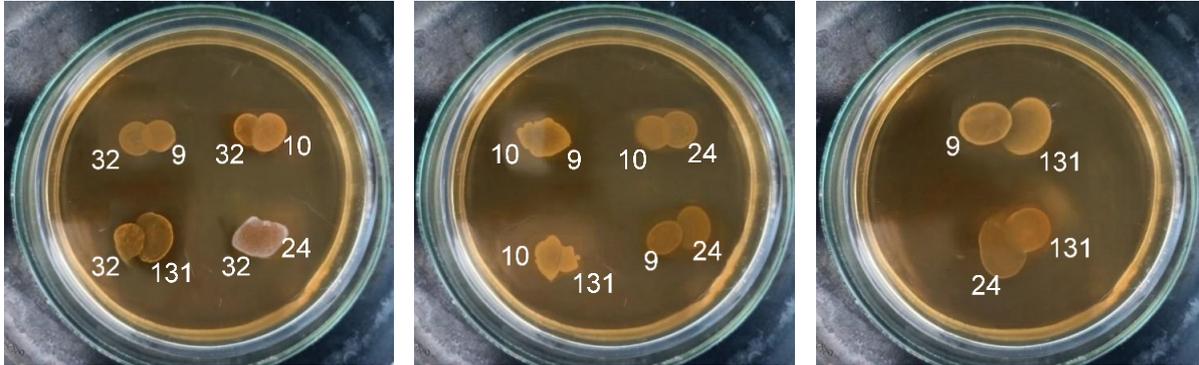


Рисунок 4 – Определение биосовместимости штаммов *L. fermentum* 10, *L. acidophilus* 9, *L. casei* 32, *L. plantarum* 24, *L. plantarum* 131

Хороший рост и биосовместимость демонстрируют *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24, что свидетельствует о возможности составления многокомпонентных консорциумов с применением данных штаммов. Разработаны консорциумы *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24 в следующих соотношениях:

- консорциум 1 – 1:1:1;
- консорциум 2 – 2:1:1;
- консорциум 3 – 1:2:1;
- консорциум 4 – 1:1:2.

Консорциумы применяли в качестве заквасок на этапе ферментации диспергированной зерновой массы при производстве зернового хлеба.

В результате комплексного исследования биотехнологических свойств разработанных консорциумов (таблица 4) установлено, что консорциум 4 проявляет максимальную амилолитическую (104,25 ед. акт/см³) и фитазную (0,18 ед/см³) активность. Все разработанные закваски проявляют выраженную ингибирующую активность в отношении *B. subtilis* и *P. chrysogenum*, вызывающих картофельную болезнь и плесневение хлеба соответственно.

Исследование влияния заквасок на ферментацию диспергированной зерновой массы из полбы (рисунок 5) показало, что активность кислотонакопления зависит от вида закваски. К концу процесса ферментации титруемая кислотность достигает значений 5,3–6,5 град. Наиболее интенсивное накопление кислотности и прирост биомассы МКБ отмечаются у образцов с применением закваски 4, что свидетельствует о ее высокой ферментативной активности.

Таблица 4 – Биотехнологические свойства консорциумов МКБ

Характеристика	Номер консорциума			
	1	2	3	4
Амилолитическая активность, ед. акт/см ³	102,76 ± 0,98	102,36 ± 0,89	101,66 ± 0,95	104,25 ± 1,03
Протеолитическая активность, мкг тирозина/см ³ ·мин	9,09 ± 0,45	9,17 ± 0,45	9,21 ± 0,46	9,98 ± 0,49
Фитазная активность, ед/г	0,14 ± 0,03	0,14 ± 0,02	0,13 ± 0,03	0,18 ± 0,02
Антирадикальная активность, %	66,87 ± 0,03	69,70 ± 0,04	62,45 ± 0,04	68,45 ± 0,04
Восстанавливающая сила, %	43,43 ± 0,02	45,60 ± 0,03	42,38 ± 0,03	42,33 ± 0,02
Антагонистическая активность, мм, в отношении:				
<i>Bacillus subtilis</i>	21 ± 1	22 ± 1	19 ± 1	21 ± 1
<i>Penicillium chrysogenum</i>	12 ± 1	12 ± 1	13 ± 1	12 ± 1

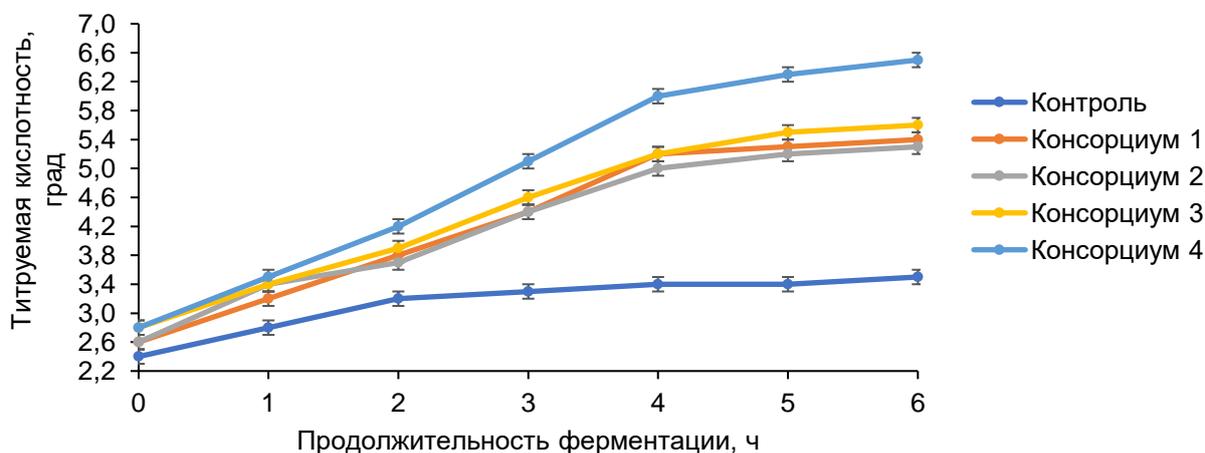


Рисунок 5 – Динамика кислотонакопления при ферментации зерновой массы из полбы

В результате исследования биотехнологических характеристик и математического анализа главных компонент разработан консорциум МКБ, содержащий штаммы *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24 в соотношении 1:1:2, характеризующийся высоким уровнем кислотообразующей, фитазной и антиоксидантной активности и предлагаемый в качестве закваски для производства зернового хлеба. Разработаны и утверждены технические условия на закваску МКБ для зерновых сортов хлеба (ТУ 10.89.19.300-002-02069639-2025).

Оптимизацию рецептурного состава хлеба, выработанного с применением заквасок, проводили с применением метода поверхностного отклика. В качестве параметров оптимизации определены продолжительность ферментации (X_1 , ч) и количество ФЗМ (X_2 , %). Получены математические уравнения зависимости пористости (Y_1 , %) и удельного объема хлеба (Y_2 , см³/100 г) от заданных параметров:

$$Y_1 = 41,98 - 7,21x_1 + 14,15x_2 + 15,64x_1x_2 + 23,60x_1^2 + 18,30x_2^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 1,14 - 0,17x_1 + 0,40x_2 + 0,40x_1x_2 + 0,54x_1^2 + 0,44x_2^2. \quad (2)$$

Зависимости пористости и удельного объема зернового хлеба от количества ФЗМ и продолжительности ферментации представлены на рисунке 6.

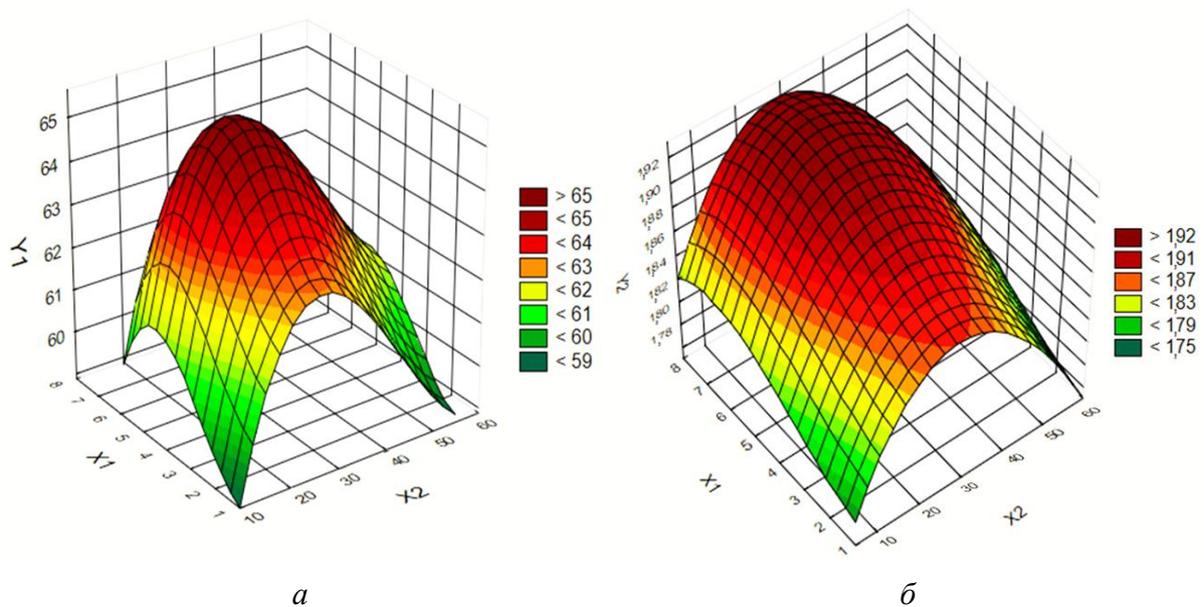


Рисунок 6 – Влияние параметров оптимизации на пористость мякиша (а) и удельный объем готовых изделий (б)

В результате математической оптимизации рецептурного состава хлеба, выработанного с применением заквасок, установлены оптимальные технологические параметры тестоприготовления: продолжительность ферментации – 4 ч, количество ФЗМ – 40 % к массе теста.

На следующем этапе проводили исследование качественных характеристик образцов зернового хлеба из полбы, выработанных с применением разных заквасок (таблица 5).

Таблица 5 – Показатели качества зернового хлеба из полбы на заквасках

Показатели	Контроль	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Органолептическая оценка, балл	3,67	4,27	4,82	4,09	4,73
Влажность, %	46,5 ± 0,3	47,6 ± 0,3	48,1 ± 0,5	47,6 ± 0,3	48,0 ± 0,3
Кислотность, град	4,0 ± 0,1	4,4 ± 0,2	4,4 ± 0,1	4,2 ± 0,1	4,4 ± 0,2
Пористость, %	45,6 ± 0,7	49,7 ± 0,6	49,8 ± 0,6	49,9 ± 0,6	51,6 ± 0,7
Удельный объем, см ³ /г	1,60 ± 0,03	1,51 ± 0,02	1,98 ± 0,02	1,60 ± 0,03	1,91 ± 0,02
Упек, %	12,2 ± 0,3	11,8 ± 0,2	11,5 ± 0,2	12,7 ± 0,2	13,9 ± 0,3
Усушка, %	5,6 ± 0,2	4,4 ± 0,1	3,6 ± 0,2	4,1 ± 0,2	3,4 ± 0,3

Выявлено, что опытные образцы отличаются улучшенными органолептическими показателями по сравнению с контролем (без применения заквасок). Применение разработанной закваски при производстве зернового хлеба из полбы позволяет увеличить пористость мякиша на 6 %, удельный объем хлеба – на 19 %, показатель насыщенности цвета у корки изделия – в 1,5–2 раза. Установлено, что применение закваски способствует снижению микробной обсемененности в зерновом хлебе при продолжительном хранении, что позволяет увеличить срок годности изделий в 1,5 раза по сравнению с контролем.

Установлено, что по совокупности показателей наиболее перспективной для применения в технологии зернового хлеба из полбы является закваска 4, которая содержит штаммы *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24 в соотношении 1:1:2. Дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния данной закваски на структурно-механические свойства образцов зернового хлеба из полбы (таблица 6).

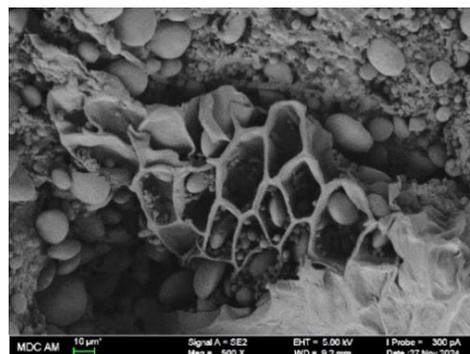
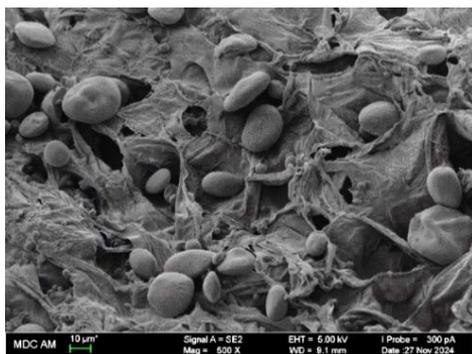
Таблица 6 – Структурно-механические свойства мякиша зернового хлеба

Образец	Деформационные характеристики мякиша*, мм						Анализ профиля текстуры				
	Усиление 500 г			Усиление 5000 г			Твердость, Г	Упругость, %	Когеция, %	Пережевываемость, Г	Липкость, Г
	$H_{общ}$	$H_{пл}$	$H_{упр}$	$H_{общ}$	$H_{пл}$	$H_{упр}$					
Контроль	4,570	1,954	2,616	16,836	7,031	9,805	629,2	80,16	84,41	425,74	531,11
Опыт	7,422	3,922	3,500	18,875	9,071	9,804	619,8	81,26	82,99	417,98	514,37
Примечание – Характеристики: $H_{общ}$ – общая деформация; $H_{пл}$ – пластическая деформация; $H_{упр}$ – упругая деформация.											

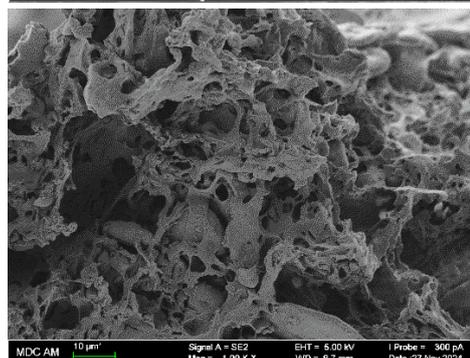
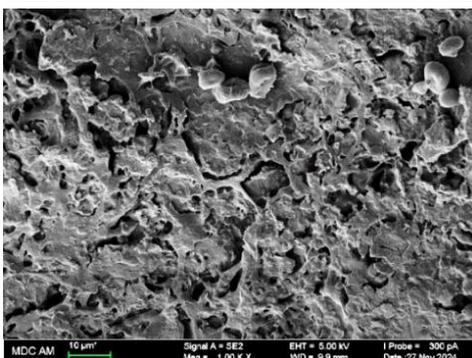
Установлено, что применение разработанной закваски способствует улучшению деформационных характеристик мякиша хлеба. Отмечается снижение твердости и липкости, повышение эластичности, упругости, когезии мякиша хлеба по сравнению с контролем.

Исследование микроструктуры методом сканирующей электронной микроскопии показало, что применение заквасок МКБ в технологии зернового хлеба способствует формированию теста с развитой пористостью и мякиша с более губчатой структурой и увеличенным размером пор (рисунок 7).

Таким образом, теоретически обоснована и экспериментально доказана перспективность применения стадии молочнокислой ферментации при производстве зернового хлеба из полбы. Выявлено, что использование заквасок МКБ позволяет получать зерновой хлеб с улучшенными органолептическими, физико-химическими и структурно-механическими характеристиками.

Тестовый
полуфабрикат

Мякиш хлеба



Контроль

Опыт

Рисунок 7 – Микроструктура теста и мякиша хлеба

В пятой главе представлены результаты исследований по разработке технологии зернового хлеба из полбы на заквасках.

Исследовано влияние продолжительности хранения ФЗМ в охлажденном и замороженном виде на показатели качества зернового хлеба из полбы (рисунок 8).

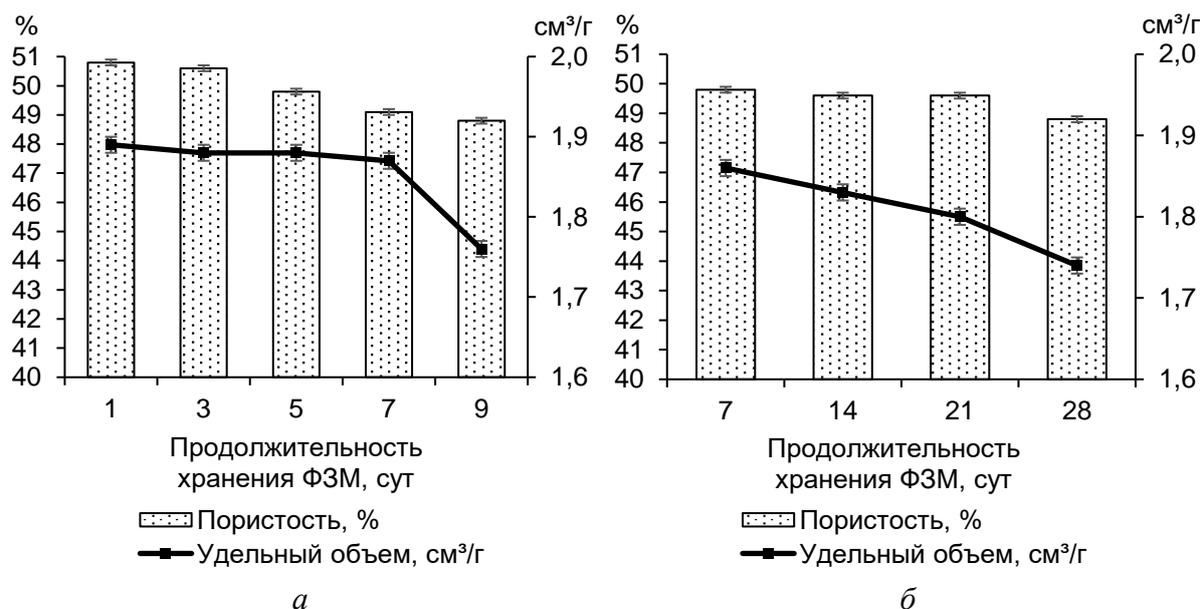


Рисунок 8 – Показатели качества образцов зернового хлеба из полбы, выработанных из полуфабриката охлажденного (а) и замороженного (б)

Установлено, что через 6 нед. хранения замороженного полуфабриката титруемая кислотность ФЗМ снижалась на 8,5 %, количество клеток МКБ – на 12,5 %. Через 3 нед. хранения ФЗМ в замороженном виде пористость мякиша снижалась на 2 %, удельный объем хлеба – на 6,4 %.

Разработаны рекомендации по хранению ФЗМ из полбы: сроки хранения полуфабрикатов при температуре $(2 \pm 2)^\circ\text{C}$ и $(-18 \pm 2)^\circ\text{C}$ составляют 5 и 21 сут соответственно.

По результатам проведенных исследований разработана и утверждена техническая документация: технические условия, технологическая инструкция и рецептура на новый вид зернового хлеба из полбы «Борай» (ТУ 10.71.11-002-2005989134-2024). Предложены аппаратурно-технологические схемы производства зернового хлеба из полбы и замороженных полуфабрикатов.

Установлено, что разработанный зерновой хлеб содержит 7,6 г/100 г пищевых волокон (таблица 7), что позволяет отнести его к пищевой продукции с высоким содержанием пищевых волокон.

Таблица 7 – Пищевая ценность зернового хлеба «Борай»

Компонент	Содержание компонента в 100 г	Суточная потребность (ТР ТС 022/2011)	Степень удовлетворения суточной потребности, %, при употреблении	
			100 г	150 г
Белки, г	8,8	75	11,7	17,5
Жиры, г	1,5	83	1,8	2,6
Углеводы, г	40,6	365	11,1	16,7
Пищевые волокна, г	7,6	30	25,3	37,9
Энергетическая ценность, ккал	210,7	2 500	8,4	12,6

Выявлено, что применение заквасок при производстве зернового хлеба из полбы приводит к снижению содержания фитиновой кислоты в готовом изделии на 35,7 %, увеличению перевариваемости белка на 4,3 % по сравнению с контролем (рисунок 9).

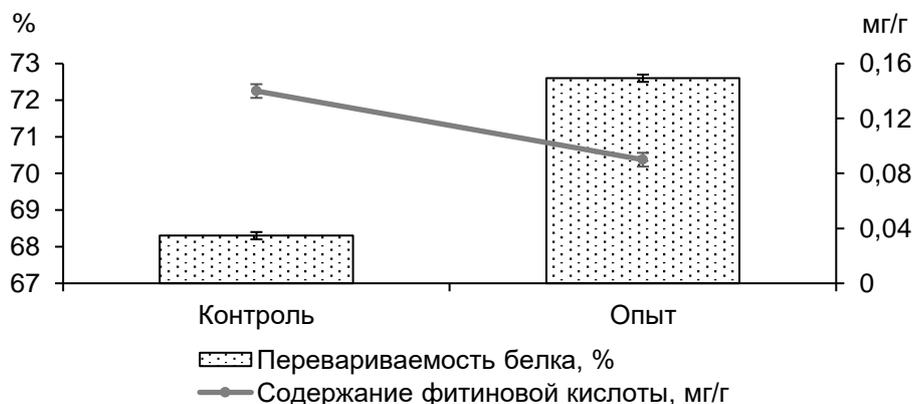


Рисунок 9 – Перевариваемость белка и содержание фитиновой кислоты в зерновом хлебе

Экспериментально установлено, что гликемический индекс зернового хлеба из полбы «Борай» составляет 47 % (рисунок 10). В соответствии с классификацией ВОЗ данное значение характеризует разработанное изделие как продукт с низким гликемическим индексом.

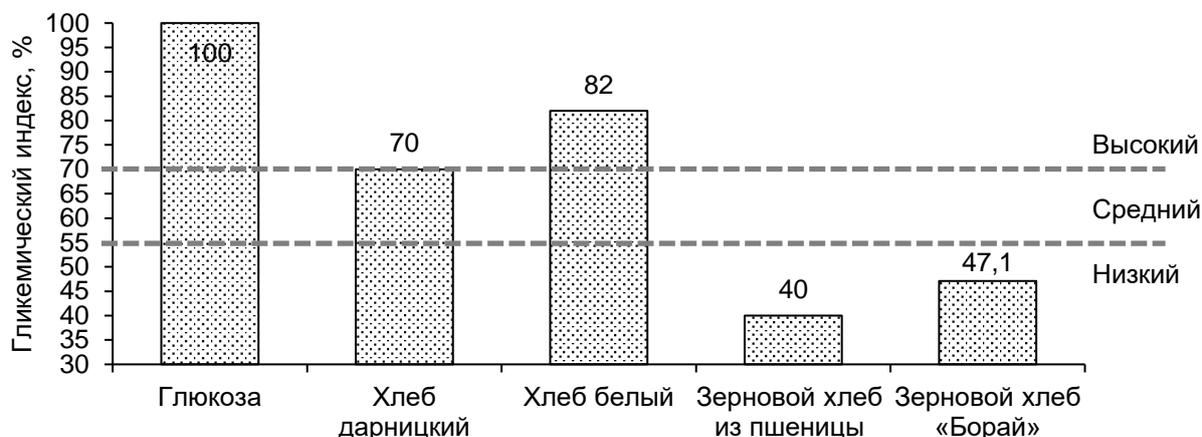


Рисунок 10 – Гликемический индекс зернового хлеба «Борай»

Выявлено, что применение заквасок повышает антиоксидантную активность зернового хлеба (рисунок 11). Антирадикальная активность хлеба «Борай» составляет 41,9 %, восстанавливающая сила – 29,9 %, гидроксилрадикальная активность – 79,1 %.

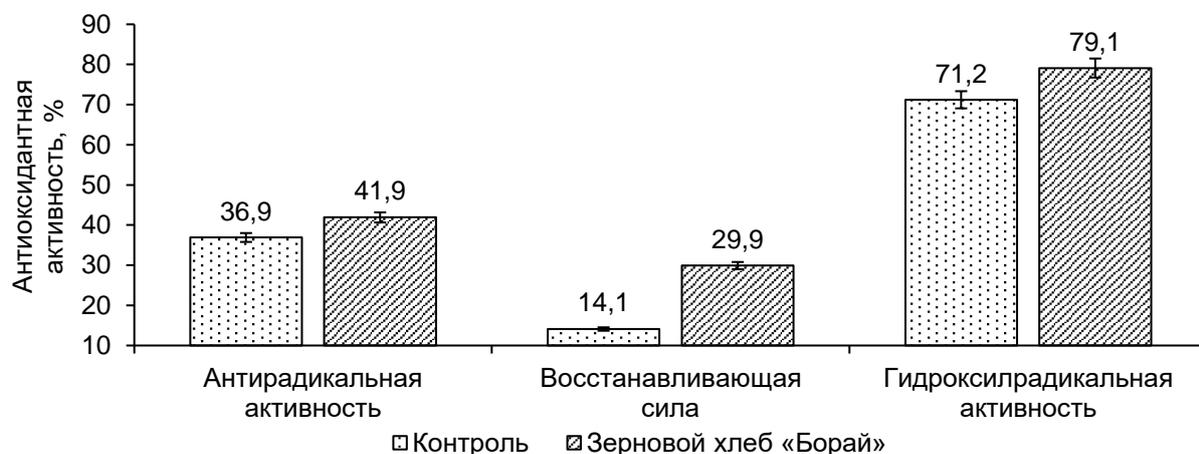


Рисунок 11 – Антиоксидантная активность зернового хлеба

В работе проведен расчет экономической эффективности производства зернового хлеба из полбы на заквасках. Цена единицы изделия массой 350 г составляет 53,12 р., комплексный показатель конкурентоспособности составляет 1,86.

Заключение

По результатам исследований сделаны следующие выводы.

1. Проведена оценка биотехнологического потенциала молочнокислых бактерий, отобраны перспективные культуры для использования в качестве заквасок в технологии зернового хлеба. Установлено, что высокой кислотообразующей активностью обладают штаммы *L. casei* 32, *L. plantarum* 131 и *L. acidophilus* 9; наибольшей амилолитической активностью обладает *L. fermentum* 10 (110,38 ед. акт/см³), протеолитической активностью – *L. casei* 32 (30,04 мкг тирозина/см³·мин), фитазной активностью – *L. casei* 32 (0,29 ед/см³), *L. plantarum* 24 демонстрирует высокую степень устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды.

2. Разработан консорциум молочнокислых бактерий, содержащий штаммы *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24 в соотношении 1:1:2, предлагаемый в качестве закваски для производства зернового хлеба. Данный консорциум отличается высоким уровнем кислотообразующей, фитазной и антиоксидантной активности.

3. Теоретически обоснована целесообразность и экспериментально подтверждена перспективность применения стадии молочнокислой ферментации при производстве зернового хлеба из полбы. Выявлено, что использование заквасок молочнокислых бактерий позволяет получать зерновой хлеб с улучшенными органолептическими, физико-химическими и структурно-механическими характеристиками. Применение разработанной закваски при производстве зернового хлеба из полбы позволяет увеличить пористость мякиша на 6 %, удельный объем хлеба на 19 %, упругую и пластическую деформацию на 34 % и 49 % соответственно по отношению к контролю. Выявлено, что образцы зернового хлеба, выработанные с применением ферментированной зерновой массы, характеризуются более низкой микробной обсемененностью, что позволяет увеличить сроки хранения готового продукта в 1,5 раза по сравнению с контролем.

4. Установлены оптимальные технологические параметры тестоприготовления зернового хлеба из полбы с применением методов математического моделирования: продолжительность процесса молочнокислой ферментации зерновой массы – 4 ч, количество ферментированной зерновой массы – 40 % к массе теста.

5. Разработаны рекомендации по хранению ферментированной зерновой массы из полбы в охлажденном и замороженном виде: сроки хранения составляют 5 и 21 сут при температуре (2±2) °С и минус 18–20 °С соответственно.

6. Разработана техническая документация: технические условия, технологическая инструкция и рецептура на новый вид зернового хлеба из полбы. Установлено, что хлеб «Борай» характеризуется высоким уровнем перевариваемости белка (72,6 %), высоким содержанием пищевых волокон

(7,6 г/100 г), низким гликемическим индексом (47 %), пониженным содержанием фитиновой кислоты (0,09 мг/г). Выполнен расчет экономической эффективности и конкурентоспособности зернового хлеба из полбы «Борай». Цена за единицу изделия массой 0,35 кг составляет 53,12 р., комплексный показатель конкурентоспособности – 1,86.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в развитии научно-практических основ моделирования новых высокоэффективных заквасок молочнокислых бактерий для создания ассортимента пищевых продуктов диетического и лечебно-профилактического назначения.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Статьи в изданиях, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий ВАК РФ

1. Китаевская, С. В. Оценка биотехнологического потенциала новых штаммов молочнокислых бактерий с криорезистентными свойствами / С. В. Китаевская, О. А. Решетник, **Д. Р. Камартдинова** [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2023. – Т. 85, № 4. – С. 63–69.

2. Китаевская, С. В. Заквасочные культуры молочнокислых бактерий с повышенными антагонистическими свойствами для хлебопекарной промышленности / С. В. Китаевская, О. А. Решетник, **Д. Р. Камартдинова** // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13, № 4 (68). – С. 130–135.

3. **Камартдинова, Д. Р.** Перспективы применения заквасок молочнокислых бактерий в технологии зернового хлеба из полбы / Д. Р. Камартдинова, С. В. Китаевская, О. А. Решетник, М. Ю. Тюрин // Индустрия питания. – 2025. – Т. 10, № 2. – С. 46–56.

4. **Камартдинова, Д. Р.** Разработка консорциума молочнокислых бактерий с антиоксидантными свойствами / Д. Р. Камартдинова, С. В. Китаевская, О. А. Решетник, М. Ю. Тюрин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств – 2025. – № 2 (64). – С. 14–23.

Публикации в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования

5. Kitaevskaya, S. V. Assessment of lactic acid bacteria new consortia proteolytic activity / S. V. Kitaevskaya, V. Y. Ponomarev, E. Sh. Yunusov, **D. R. Kamartdinova** // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 677 (1). – Art. 052073.

Прочие публикации

6. Китаевская, С. В. Оценка биотехнологических свойств новых консорциумов молочнокислых бактерий / С. В. Китаевская, **Д. Р. Камартдинова**, Е. В. Романова, О. А. Решетник // Современные проблемы пищевой безопасности: мате-

риалы междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 22–23 окт. 2020 г.). – Санкт-Петербург : СПбГУВМ, 2020. – С. 171–175.

7. Китаевская, С. В. Разработка консорциумов молочнокислых бактерий с криорезистентными свойствами / С. В. Китаевская, **Д. Р. Камартдинова**, Е. В. Романова, О. А. Решетник // Интеграция науки и высшего образования в области био- и органической химии и биотехнологии : материалы Всерос. науч. интернет-конф. (Уфа, 26–27 нояб. 2020 г.). – Уфа : УГНТУ, 2020. – С. 102–104.

8. Китаевская, С. В. Исследование влияния заквасок молочнокислых бактерий на качество зернового хлеба / С. В. Китаевская, **Д. Р. Камартдинова**, Е. В. Романова, О. А. Решетник // Наука, образование и инновации для АПК: состояние, проблемы и перспективы : материалы VI Междунар. науч.-практ. онлайн-конф. (Майкоп, 25 нояб. 2020 г.). – Майкоп : МГТУ, 2020. – С. 484–487.

9. **Камартдинова, Д. Р.** Перспективы применения зерна полбы при производстве хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности / Д. Р. Камартдинова, С. В. Китаевская, О. А. Решетник // Пищевые технологии и биотехнологии : материалы XVII Всерос. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием (Казань, 20–23 апр. 2021 г.). – Казань : КНИТУ, 2021. – С. 785–789.

10. Китаевская, С. В. Оценка жизнеспособности клеток дрожжей при низкотемпературном хранении тестовых полуфабрикатов / С. В. Китаевская, **Д. Р. Камартдинова**, Е. В. Романова // Горизонты биотехнологии : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Орел, дек. 2021 г.). – Орел : ОГУ им. И. С. Тургенева, 2021. – С. 209–212.

11. **Камартдинова, Д. Р.** Исследование содержания веществ, проявляющих антиоксидантные свойства, в продуктах питания растительного происхождения / Д. Р. Камартдинова, О. А. Решетник // Жить в XXI веке – 2021 : материалы конф. (Казань, 10 февр. 2021 г.). – Казань : КНИТУ, 2021. – С. 314–318.

12. **Камартдинова, Д. Р.** Исследование влияния заквасок молочнокислых бактерий на качество зернового хлеба из полбы / Д. Р. Камартдинова, Г. Аширмадова, С. В. Китаевская, О. А. Решетник // Жить в XXI веке – 2022 : материалы конкурса научных работ студентов и аспирантов КНИТУ. – Красноярск : Науч.-иннов. центр, 2022. – С. 229–232.

13. Китаевская, С. В. Влияние заквасок молочнокислых бактерий на качественные характеристики зернового хлеба / С. В. Китаевская, **Д. Р. Камартдинова**, Н. К. Романова, О. А. Решетник // Фундаментальные аспекты и практические вопросы современной микробиологии и биотехнологии : материалы Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Ульяновск, 29 сент. 2022 г.). – Ульяновск : УлГАУ им. П. А. Столыпина, 2022. – С. 290–297.

14. Китаевская, С. В. Исследование антиоксидантной активности зернового хлеба, приготовленного на заквасках / С. В. Китаевская, О. А. Решетник, **Д. Р. Камартдинова** // Актуальная биотехнология. – 2023. – № 4. – С. 26.

15. **Камартдинова, Д. Р.** Разработка консорциума молочнокислых бактерий для применения в хлебопекарной промышленности / Д. Р. Камартдинова, С. В. Китаевская, О. А. Решетник // Жить в XXI веке – 2024 : сб. конкурсных работ на лучшую науч.-исслед. работ студентов и аспирантов КНИТУ. – Красноярск : Науч.-иннов. центр, 2024. – С. 378–381.

16. **Камартдинова, Д. Р.** Хранимоспособность зернового хлеба из полбы с применением заквасок / Д. Р. Камартдинова, С. В. Китаевская, О. А. Решетник // ВIOAsia Altai 2024 : материалы IV Междунар. биотехнол. форума (Барнаул, 23–28 сент. 2024 г.). – Барнаул : АлтГУ, 2024. – С. 90–93.

17. **Камартдинова, Д. Р.** Гликемический индекс зернового хлеба из полбы / Д. Р. Камартдинова, С. В. Китаевская, О. А. Решетник // Пищевые технологии и биотехнологии : материалы XIX Всерос. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием (Казань, 21–25 апр. 2025 г.). – Казань : КНИТУ, 2025. – С. 1034–1039.

Свидетельства и патенты

18. Патент № 2829513 Российская Федерация, МПК А21D 8/02, А21D 2/38, А21D 13/02. Способ получения зернового хлеба : № 2024104833 : заявл. 27.02.2024 : опубл. 31.10.2024 / **Д. Р. Камартдинова, С. В. Китаевская, О. А. Решетник.**

Список сокращений и условных обозначений

ВКЭ – внутриклеточный экстракт.

КЖ – культуральная жидкость.

МКБ – молочнокислые бактерии.

ФЗМ – ферментированная зерновая масса.

Подписано в печать 26.09.2025.
Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать плоская.
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета в подразделении оперативной полиграфии
Уральского государственного экономического университета
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45