

МИНЕВИЧ ИРИНА ЭДУАРДОВНА

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ
ОСНОВ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЕМЯН ЛЬНА С
ПОЛУЧЕНИЕМ ИНГРЕДИЕНТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОДУКТОВ ЗДОРОВОГО
ПИТАНИЯ**

Специальность 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

Тверь, 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр лубяных культур» (ФГБНУ ФНЦ ЛК)

| | |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Научный консультант: | Цыганова Татьяна Борисовна доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» |
| Официальные оппоненты | Магомедов Газибек Омарович доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», заведующий кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Кондратьев Николай Борисович доктор технических наук, главный научный сотрудник, ВНИИ Кондитерской промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ Пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, заведующий отделом современных методов оценки качества кондитерских изделий Романов Александр Сергеевич доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой пищевых производств НОЧУ ДПО «МПА» |
| Ведущая организация: | ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» |

Защита состоится « 16 » июня 2022 г в 10:00 часов на заседании Совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.148.03 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» по адресу: 125080, Москва, А-80, Волоколамское шоссе, д. 11, корп. А, ауд. А1.

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

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» <http://www.mgupp.ru>.

Автореферат размещен в сети Интернет на официальных сайтах: ВАК Минобрнауки России (<https://vak.minobrnauki.gov.ru>) и ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» <http://www.mgupp.ru>.

Автореферат разослан « _____ » _____ 20 _____ г.

Ученый секретарь диссертационного совета, к.т.н.

Ю. В. Николаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Структура питания и пищевой статус населения относятся к числу важнейших показателей социально-экономического развития страны. Значимость состояния питания как фактора, формирующего здоровье нации, подтверждается концепцией государственной политики в области здорового питания. Необходимость профилактики алиментарно-зависимых заболеваний путем коррекции пищевого статуса подтверждена в «Доктрине продовольственной безопасности», утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20, в «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 года № 1364-р.

Современные достижения биохимии, геномики, протеомики, метаболомики и других фундаментальных наук позволили выявить биологическую роль отдельных компонентов пищи (макро- и микронутриентов, биологически активных веществ) в регуляции функциональной активности различных органов и систем, а также в снижении риска развития алиментарно-зависимых заболеваний.

Накопленный научный материал свидетельствует о необходимости обогащения рациона населения источниками биологически активных веществ, а также изменения структуры питания, направленного на увеличение доступности и потребления продуктов здорового питания. В условиях, осложненных пандемией COVID-19, потребление здоровой пищи, особенно с функциональными свойствами приобрело особую значимость как способ поддержки иммунной системы организма человека.

В настоящее время перспективной нишевой сельскохозяйственной культурой, выращиваемой в России, являются семена льна. Как источник эссенциальных макронутриентов и биологически активных веществ они рассматриваются в качестве дополнительного сырья, обогащающего хлебобулочные и мучные кондитерские изделия. По содержанию белка (18–25%) они превосходят зерновые (9–12%), сумма незаменимых аминокислот в их белковом комплексе на 50% выше, чем у зерновых. Семена льна богаты эссенциальными полиненасыщенными жирными кислотами с преобладающим (более 50%) содержанием семейства ω -3; по количеству лигнанов (52679 мкг/100г), относящихся к классу фитоэстрогенов, которые поддерживают важнейшие физиологические функции организма человека, они в сотни раз превосходят другие сельхозкультуры, в том числе злаковые (369 мкг/100г). Семена льна характеризуются наличием растворимых пищевых волокон, локализуемых в их слизевых клетках, макро- и микроэлементов (Na, Mg, P, Zn) витаминов (A, C, E, B₆).

Продукты переработки семян льна пищевого назначения получают только в виде масла и муки на отдельных предприятиях малого бизнеса в незначительных для нашей страны количествах. Технологии глубокой переработки семян льна, позволяющие получать функциональные ингредиенты (белковые концентраты, пищевые волокна), будут способствовать расширению ассортимента продуктов здорового питания и их доступности, что имеет социальное значение. Белковые концентраты, пищевые волокна в виде полисахаридных комплексов и экстрактов могут быть использованы в качестве эмульгаторов, водо- и жиродерживающих компонентов, регуляторов пищевой и биологической ценности пищевых продуктов.

В связи с этим научное обоснование и разработка научно-практических основ технологий пищевых ингредиентов из семян льна для создания продуктов здорового питания является актуальным и соответствует политике государства в социальной области.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в развитие современной концепции здорового питания в нашей стране внесли Покровский А.А., Уголев А.М., Тутельян В.А.; в развитие теоретических и практических основ комплексной переработки семян различных видов сельскохозяйственных культур с целью повышения пищевой и биологической ценности пищевых продуктов – отечественные ученые: Аксенова Л.М., Кочеткова А.А., Лисицын А.Н., Магомедов Г.О., Мачихина Л.И., Мелешкина Е.П., Нечаев А.П., Росляков Ю.Ф., Толстогузов В.Б., Цыганова Т.Б., Щербаков В.Г. и многие другие. Среди зарубежных исследований семян льна широко известны работы Cui W., Kaushik, P., Madusudhan, K.T., Mazza G., Oomah B.D., Warrand J.

Несмотря на известную информацию о семенах льна как источника эссенциальных нутриентов и биологически активных веществ, данных об их глубокой переработке и использовании в пищевых технологиях еще недостаточно, они разрознены и не систематизированы. Требуют разработки технологии глубокой переработки семян льна, адаптированные к промышленному производству. Необходимы исследования функционально-технологических свойств белков и полисахаридов семян льна, их взаимодействия с пищевыми компонентами в процессе создания продукции здорового питания.

Работа проводилась в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»; приоритетного направления «Стратегии научно-технологического развития РФ» (Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642), одним из подпунктов которого является *эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных продуктов питания* (пункт «г» Стратегии), а также в рамках Программы фундаментальных научных исследований (ПФНИ) государственных академий наук по тематике госзаданий, выполняемых в ФГБНУ ФНЦ ЛК.

Целью настоящей работы явилось решение комплекса научно-практических задач, направленных на научное обоснование и разработку научно-практических основ технологий глубокой переработки семян льна, обеспечивающих наиболее полное выделение функциональных пищевых ингредиентов и оценку перспектив их использования для создания продуктов здорового питания.

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

1. Провести анализ: нормативной базы продуктов здорового питания, современных технологий получения пищевых ингредиентов (белков, полисахаридов) из растительного сырья, биохимического потенциала семян льна и их практического использования в пищевых технологиях;

2. Научно обосновать выбор семян льна для получения функциональных пищевых ингредиентов и создания ассортимента продуктов здорового питания на основании анализа состояния современного производства и востребованности этой культуры в России, подтверждения пищевой безопасности семян льна и льняной муки путем оценки содержания синильной кислоты в используемом льняном сырье;

оценки удовлетворения потребностей в нутриентах при введении семян льна в рационы населения.

3. Провести исследования процесса экстракции полисахаридов и белка из семян льна и льняного жмыха, влияния технологических параметров на состав целевых продуктов для дальнейшего их использования в пищевых технологиях с применением спектральных и химических методов;

4. Разработать технологию повышения пищевой безопасности и органолептических свойств семян льна с использованием высокотемпературной обработки под действием ИК-облучения, основанной на определении оптимальных параметров предварительной гидротермической обработки, исследовании влияния ИК-облучения на химический состав, белковый комплекс, активность окислительных ферментов и органолептические свойства семян льна;

5. Разработать инновационные технологии глубокой переработки семян льна для создания импортозамещающей белоксодержащей продукции и функциональных ингредиентов на основе пищевых волокон для повышения потребительских характеристик пищевых продуктов;

6. Разработать ассортимент продуктов различных товарных групп с использованием продуктов переработки семян льна, соответствующих требованиям концепции здорового питания; установить их влияние на органолептические, физико-химические показатели качества и пищевой ценности разработанных изделий; разработать технологические решения по введению компонентов семян льна в рецептурные составы новых изделий;

7. Провести опытно-промышленную апробацию технологий пищевых ингредиентов из семян льна; разработать нормативную документацию на пищевые ингредиенты и продукты,

8. Определить себестоимость разработанных ингредиентов и продуктов, обосновать их социальную значимость.

Научная концепция исследования. В разработку научно-практических основ глубокой переработки семян льна для создания продуктов здорового питания положена максимальная реализация биохимического потенциала семян льна на основании комплексного решения взаимосвязанных задач от разработки технологий повышения органолептических свойств семян и получения из них пищевых ингредиентов, включая белковые концентраты и пищевые волокна, до технологических решений их применения при оценке перспектив расширения ассортимента продуктов здорового питания.

Научная новизна.

1. При исследовании водной экстракции неразрушенных семян льна выявлен последовательный выход полисахаридных ассоциатов в первую очередь с максимальным содержанием белка, что может служить основанием для получения полисахаридных комплексов с контролируемым содержанием белка и, следовательно, функционально-технологическими свойствами для использования в качестве пищевых ингредиентов при создании продуктов здорового питания.

2. Методом ИК-спектроскопии выявлено влияние технологических параметров переработки семян льна на содержание белка и структурные связи в полисахарид-белковых ассоциатах, выражающиеся в увеличении содержания белка при повышении температуры экстракции и снижении рН среды, варибельности

интенсивности, формы, положения максимумов полос в области $1700-1500\text{ см}^{-1}$, где проявляют себя протеиновые компоненты в составе полисахаридных комплексов, что свидетельствует о разнообразии протеин-полисахаридных взаимодействий и полисахарид-белковых ассоциатов при переработке семян льна.

3. Сравнение ИК-спектров семенной оболочки и ядра семян льна выявило различие в структуре белковых полос на спектрах ядра и оболочки, а именно наличие дополнительного пика в спектрах оболочки, относящегося к полипептидам, что свидетельствует об их присутствии в семенной оболочке.

4. В ИК спектрах продуктов водной экстракции цельных семян льна выявлено присутствие в белковой области ($1700-1500\text{ см}^{-1}$) одиночной в разной степени структурированной полосы, характерной для полипептидных компонентов в отличие от аналогичных продуктов экстракции измельченных семян льна, характеризующихся классическим дублетом полос Амид I и Амид II в этой области; подобные продукты могут служить природными носителями в водных системах белковых соединений, сохраняя их функциональные свойства при использовании в пищевых технологиях, медицине, фармацевтике, косметологии.

5. Обоснованы оптимальные технологические режимы микронизации семян льна, ограничивающие окисление липидов при сочетании их увлажнения методом пропаривания и последующим кратковременным ИК облучением за счет достижения минимальной активности их гидролитических и окислительных ферментов, и позволяющие получать семена с неизменной пищевой ценностью и улучшенными органолептическими свойствами.

6. На основании исследований процесса экстракции белковых веществ и полисахаридов выявлено, что предварительное удаление водорастворимых полисахаридов из льняного жмыха перед проведением экстракции белка позволяет выделить не менее 60% белка в раствор из исходного сырья и получить белковый концентрат, содержащий не менее 65% белка.

7. Выявлено положительное влияние продуктов переработки семян льна (измельченных семян льна, полуобезжиренной льняной муки, полисахаридного экстракта, льняного белкового концентрата) на органолептические и физико-химические показатели качества, пищевой ценности разработанных изделий. Максимальные результаты были установлены при использовании льняной муки, включая увеличение удельного объема ХБИ на 12,3%.

8. Экспериментально обоснован безглютеновый компонентный состав, с использованием льняной муки и полисахаридного комплекса семян льна в качестве структурообразователя вместо кукурузного крахмала с целью расширения ассортимента безглютеновой продукции.

9. Установлены количественный состав основных пищевых веществ и степень удовлетворения суточной потребности организма человека в эссенциальных нутриентах, включая ПНЖК $\omega-3$ и индивидуальные незаменимые аминокислоты в разработанных изделиях для их обоснованного включения в рационы питания населения.

Практическая значимость работы.

Разработана технология микронизации семян льна, обеспечивающая повышение качества сырья за счет снижения активности его гидролитических и окислительных

ферментов, повышения доступности белкового комплекса (вследствие частичной денатурации) и улучшения вкусовых свойств.

Разработаны технологии с получением функциональных ингредиентов из семян льна как компонентов для применения в составе рецептур продуктов здорового питания.

Предложены направления использования продуктов переработки семян льна в технологиях пищевых продуктов здорового питания массового потребления

Разработаны технологические решения эффективного введения льняной муки и измельченных семян льна в рецептурный состав хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, эмульсионных продуктов, кондитерских паст, ориентированные на повышение пищевой и биологической ценности, потребительских качеств продуктов.

Разработаны технологии мучных и эмульсионных изделий с повышенной пищевой ценностью на основе включения в рецептуру продуктов переработки семян льна.

Получены в условиях опытного производства образцы белкового концентрата из льняного жмыха и полисахаридного экстракта из семян льна.

Разработаны ТУ 10.89.15-002-10784971-2021 «Продукт полисахаридный из льняного семени», ТИ по изготовлению и контролю «Продукта полисахаридного из льняного семени», ТУ 10.89.19-003-10784971-2021 «Концентрат белковый льняной», ТУ 9143-001-10784971-12 на эмульсионный продукт с льняной мукой и ТИ по его изготовлению и контролю, ТУ 9110-004-10784971-21 на батон «Пшенично-льняной».

Новизна разработанных технологических решений подтверждена 5 патентами Российской Федерации.

Определена себестоимость разработанных пищевых ингредиентов и продуктов, обоснована их социальная значимость.

Материалы выполненных исследований используются в учебном процессе НИУ ИТМО при реализации профессиональных образовательных программ бакалавриата и магистратуры по направлению «Биотехнологии».

Научные положения, выносимые на защиту: - научное обоснование выбора семян льна и льняного жмыха в качестве исходного сырья для получения пищевых ингредиентов, базирующееся на анализе биохимического потенциала семян льна, современного состояния их производства и переработки, подтверждении их пищевой безопасности; оценке эффективности введения семян льна в пищевые рационы;

- совокупность экспериментальных данных по исследованию процесса экстракции белка и полисахаридов из льняного сырья для получения пищевых функциональных ингредиентов,

- технология микронизации семян льна, базирующаяся на определении оптимальных параметров предварительной гидротермической обработки, комплексном исследовании влияния ИК-облучения на химический состав, белковый комплекс, активность окислительных ферментов и органолептические свойства семян льна;

- способы получения пищевых ингредиентов из семян льна и льняного жмыха, обеспечивающие наиболее полный выход целевых продуктов с высокими функционально-технологическими свойствами для создания продуктов здорового питания;

- технологические решения по созданию ассортимента продуктов здорового питания различных товарных групп (ХБИ, МКИ, эмульсионные продукты, кондитерские пасты) на основе использования в составе их рецептур семян льна и продуктов их переработки в качестве источника ПНЖК омега-3, белка, пищевых волокон.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов обеспечена и подтверждена применением поверенных, аттестованных научных приборов, современных физико-химических методов анализа, статистической математической обработкой результатов эксперимента, совпадением результатов опытной апробации с результатами лабораторных исследований. Обработку результатов проведенных исследований проводили с использованием программ Microsoft Excel, Origin, Statistica 6.0. Результаты исследований отражены в рецензируемых научных изданиях.

Основные научные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих научных изданиях по пищевым технологиям, доложены и обсуждены на симпозиумах и конференциях: Москва (2005, 2006, 2009, 2015, 2016, 2017, 2019); Тверь (2003, 2004, 2006, 2009, 2010, 2011, 2019); Торжок (2004); Москва-Тамбов (2005, 2013); Москва-Подольск (2011); Москва-Углич (2012); Вологда (2007, 2009, 2012); Зеленоград (2012); Смоленск (2016), Краснодар (2009, 2015, 2017, 2019); Беларусь, Минск (2011, 2021); Керчь (2018); Киров (2018).

Личный вклад автора заключается в формулировании направления и разработке основных положений диссертации, выносимых на защиту, постановке цели и задач исследований, решении поставленных задач, планировании экспериментов и проведении исследований, в получении результатов, математической обработке и обобщении результатов и использовании их на практике. Результаты диссертационной работы являются совокупностью многолетних научных исследований, проведенных в ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» лично автором и при его непосредственном участии.

Публикации. Основные результаты работы изложены в 77 публикациях, в том числе 7 – во входящих в международные реферативные базы RSCI и Scopus, 26 в рецензируемых изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов докторской диссертации, 35 публикации - в журналах, материалах конференций и зарубежных сборниках, 1 монография и 3 учебных пособия (общим объемом 46,75 усл. печ. л.), получено 5 патентов РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения и девяти глав, включающих аналитический обзор литературы, методическую часть, результаты собственных исследований, выводы, список используемой литературы и приложения. Основной текст работы изложен на 382 страницах компьютерного текста, содержит 126 таблиц и 99 рисунков, 7 приложений. Список литературы включает 441 источник, в том числе 226 – зарубежных.

Результаты работы получены в составе лаборатории переработки лубяных культур ФГБНУ ФНЦ ЛК совместно с Осиповой Л.Л., Зубцовым В.А., д.мед.н.; в творческом сотрудничестве с Цыгановой Т.Б., д.т.н., профессором ФГБОУ ВО МГУПП, Нечипоренко А.П., д.х.н., профессором ФГАОУ НИУ ИТМО, Черныхом В.Я., д.т.н., профессором ФГАНУ НИИХП. Опытные образцы были получены в

сотрудничестве с Абрамовым Д.В. к.б.н, ВНИИ маслоделия и сыроделия – филиал «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обоснована актуальность, охарактеризованы научная новизна, практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту; сформулированы цель и задачи исследования.

Глава 1 Обзор литературы. Рассмотрены особенности современного питания, нормативная база и классификация продуктов здорового питания. Проанализированы современные технологии получения таких пищевых ингредиентов, как концентрированные формы растительных белков, растворимых пищевых волокон, необходимых для создания продуктов здорового питания. Приведены краткие сведения об истории, географии происхождения и возделывания льна, как древнейшей культуры многоцелевого использования. Показана роль биологически активных веществ и функциональных ингредиентов семян льна в снижении риска и профилактике ряда заболеваний (онкологических, сердечно-сосудистых и пр.). Рассмотрено современное состояние и перспективы переработки семян льна для использования в пищевой промышленности. Анализ научной литературы свидетельствует об актуальности, теоретической и практической значимости проведения широких исследований по переработке семян льна для внедрения биологически активных веществ и функциональных пищевых ингредиентов этого сырья в отечественную пищевую промышленность для коррекции пищевого статуса населения и профилактики алиментарно-зависимых заболеваний. Сформулированы цель и задачи исследования.

Блок-схема исследований представлена на рисунке 1.

Глава 2 Методология и методы исследований. В соответствии с целью и задачами работы в качестве **объектов исследований** служили: хлебобулочные изделия, мучные кондитерские изделия типа маффинов, а также семена льна отечественных сортов и промышленного производства, льняной жмых промышленного производства; полисахаридные комплексы и сухие полисахаридные экстракты, белковые концентраты, льняная мука.

В ходе технологических исследований использовали пищевое сырье, отвечающее требованиям ГОСТ или ТУ.

При выполнении работы использованы стандартные, общепринятые и оригинальные **методы исследований**, в том числе оптические (ИК-спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения (ИКС НПВО)), реологические, биохимические, органолептические. ИК-спектры (ИК НПВО) поверхности сухих образцов снимали на Фурье-спектрометре «Tensor 37» фирмы Bruker (Германия). Технологические свойства разработанных ингредиентов: цветовые характеристики, насыпная плотность, показатели прессования определяли с использованием приборов: «CR-410», волюмометра Скотта «PT-SV100», «Структурометр СТ-2».

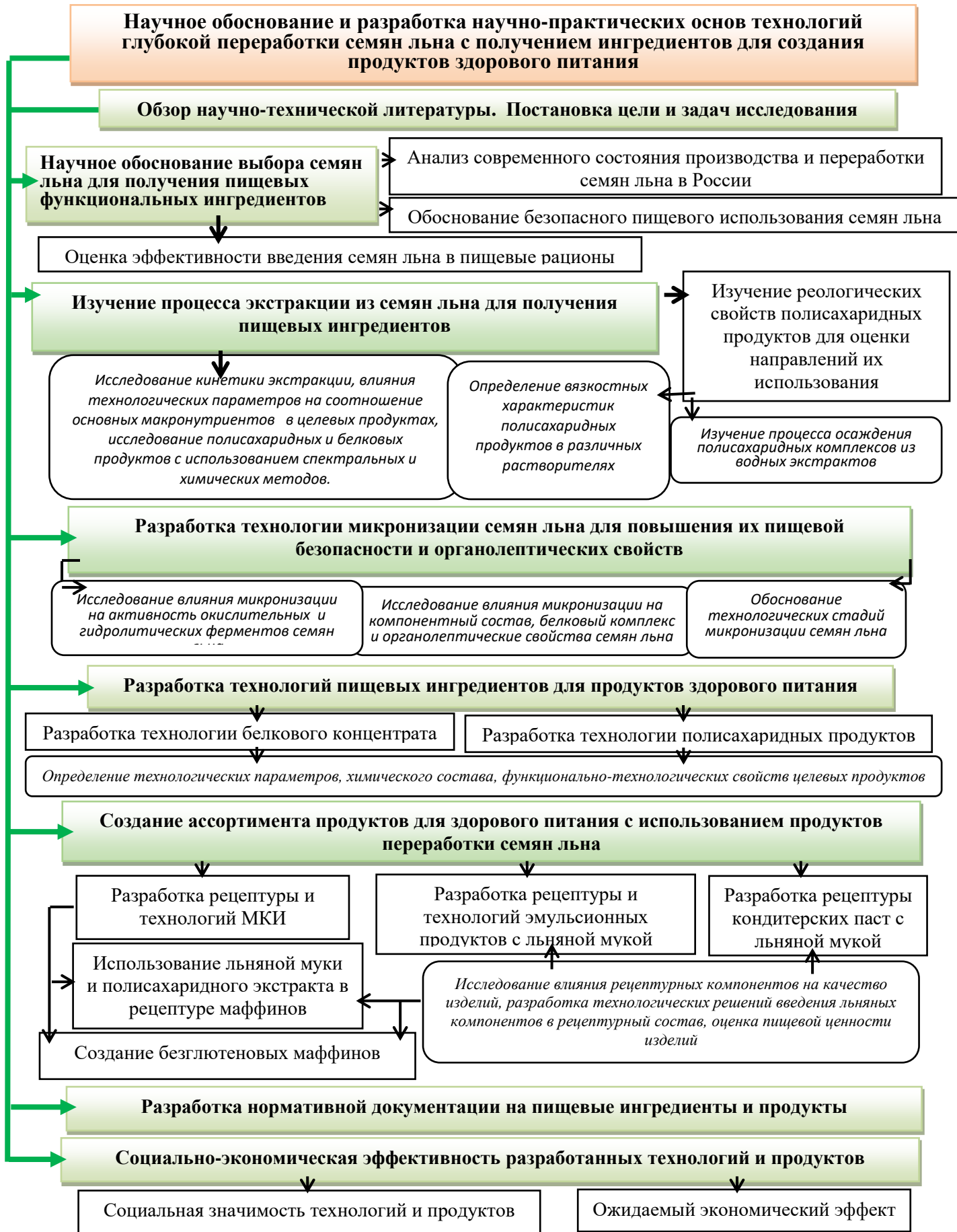


Рисунок 1 – Структурная схема исследований

Пищевую безопасность семян льна и льняной муки подтверждали определением свободной и связанной синильной кислоты по действующему ГОСТ 13979.8-69.

Расчет пищевой и энергетической ценности, а также степень удовлетворения суточной потребности в нутриентах разработанных изделий проводили на основании сравнения химического состава изделий с формулой сбалансированного питания (МР 2.3.1.0253-21). Расчет DIAAS - показателя биологической ценности белка семян льна, проводили в соответствии с рекомендациями экспертов ФАО/ВОЗ (2011г).

Качество готовых изделий оценивали общепринятыми и специальными органолептическими методами, в том числе профильной сенсорной оценки.

Исследования проводили в трех - пятикратной повторности. Полученные экспериментальные данные обработаны методами математической статистики с использованием пакетов программ Excel, Statistica, Origin.

3 Научное обоснование выбора семян льна для получения функциональных пищевых ингредиентов

3.1 Анализ современного состояния производства и промышленной переработки семян масличного льна в России

Масличный лен на мировом рынке считается нишевой культурой: он производится в объеме 2,2-2,7 млн. тонн и занимает менее 1% от общего объема масличных. Однако востребованность масличного льна остается стабильной из-за высокого мирового спроса на пищевые семена льна и льняное масло для пищевой и химической промышленности.

Анализ статистических данных показал, что производство масличного льна в России за последние 10 лет возросло: площадь посевов - более чем в 6 раз, валовые сборы – в 6,6 раз. В 2020г. валовый сбор семян масличного льна в России достиг 648 тыс. т, что составило 24% от мирового производства этой культуры.

Рост производства семян масличного льна в России объясняется высокой ценой на мировом рынке. Поэтому семена льна в качестве сырья, в основном, идут на экспорт. На внутреннюю переработку используется не более 15% собранного урожая. При этом более 50% произведенного в России льняного масла также экспортируется.

Семена льна популярны в производстве хлебобулочных, кондитерских изделий, функциональных и специализированных продуктов. В «западных» вариантах диеты они нашли применение также как альтернатива мясу, заменитель молочных продуктов. Причем востребованы не только масло и семена льна, которые из-за высокого содержания в них полезных для сердца ω -3 жиров и пищевых волокон относятся к здоровому питанию, но и льняной белок вследствие выявленного положительного влияния на здоровье.

В настоящее время в промышленных масштабах на предприятиях малого и среднего бизнеса производят льняное масло (пищевое и техническое) и льняную муку. Повышение содержания льняной муки в продуктах, например ХБИ, может обеспечить увеличение необходимых нутриентов в рационе населения. Расчеты

показали, что увеличение выработки льняной муки за счет снижения экспорта* на 50% даст возможность выработать $\approx 2,27$ млн т хлебобулочных изделий с этим функциональным ингредиентом, что составит 42% от объема ХБИ в 2020 году. (*использовали данные 2020г.)

Глубокая переработка семян льна с получением белковых концентратов, пищевых волокон также позволит получить дополнительный народнохозяйственный эффект за счет продукции с высокой добавленной стоимостью, а также социальный эффект, связанный с обогащением рационов питания населения доступным высококачественным растительным белком, более дешевым по сравнению с животным. Переработка жмыха, остающегося после выработки льняного масла, может дать не менее 13тыс т пищевого белкового концентрата с содержанием протеина более 65%. Внедрение таких производств позволит стимулировать увеличение внутренней переработки этого ценного сырья.

3.2 Обоснование пищевого использования семян льна

Семена льна, наряду с ценными биологически активными веществами, также содержат антиалиментарные вещества, в частности цианогенные гликозиды.

Определение содержания синильной кислоты в используемых в работе семенах льна и льняной муке позволило выявить их незначительное содержание: 0,7-0,9% и 1,7-2,2% от токсичной дозы, соответственно.

Полученные данные подтверждают безопасное содержание цианогенных гликозидов в используемых для исследований семенах льна и льняной муке. В научно-практической и медико-фармацевтической литературе также отсутствует информация о выраженных побочных эффектах семян льна и их токсических свойствах.

3.3 Оценка эффективности введения семян льна в пищевые рационы

С целью оценки целесообразности введения семян льна в рационы населения, был проведен сравнительный анализ их пищевой ценности с учетом скорректированных норм физиологических потребностей различных групп населения в пищевых веществах (МР 2.3.1.0253-21). Оценка степени удовлетворения суточных потребностей в основных пищевых веществах при введении в рационы семян льна в количестве 100 г и 25г (≈ 2 столовые ложки) позволила определить эффективность семян льна как источника полиненасыщенных жирных кислот ω -3 (ПНЖК ω -3). Как показали расчеты двух столовых ложек семян льна достаточно, чтобы восполнить суточную потребность дефицитных ПНЖК ω -3 для всех групп взрослого населения. При этом семена льна являются самым экономически доступным источником эссенциальных ПНЖК ω -3. Добавление такого количества семян льна в суточный рацион не потребует изменений вкусовых привычек.

При этом в суточный рацион вводится как минимум 6% от рекомендуемого уровня растительного белка и 6-7% необходимого количества пищевых волокон, а также минеральные вещества, витамины.

В настоящее время ФАО/ВОЗ рекомендует рассматривать аминокислоты как индивидуальные питательные вещества (нутриенты), указывая их количество в продуктах питания. В связи с этим была рассчитана степень удовлетворения суточной потребности в незаменимых аминокислотах при введении этого сырья в рационы взрослого населения (таблица 1).

Таблица 1– Оценка степени удовлетворения суточной потребности в аминокислотах при введении семян льна в рационы взрослого населения

| Аминокислота | Рекомендации ФАО/ВОЗ суточной потребности в аминокислотах для взрослых | | Содержание аминокислот в семенах льна г/100г продукта | Степень обеспечения сут. потребности взрослого человека при потреблении семян льна, % | |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| | мг/кг веса | г/70кг веса | | 100г | 25г |
| Валин/ Valin | 26 | 1,8 | 1,8 | 99 | 25 |
| Изолейцин/ Isoleucine | 20 | 1,4 | 1,3 | 89 | 22 |
| Лейцин/ Leucine | 39 | 2,7 | 2,2 | 79 | 20 |
| Лизин/ Lysine | 30 | 2,1 | 1,0 | 45 | 11 |
| Метионин+Цистин/ Metionin+Cysteine | 15 | 1,1 | 0,9 | 88 | 22 |
| Треонин/ Treonine | 15 | 1,1 | 1,4 | 128 | 32 |
| Триптофан/ Tryptophan | 4 | 0,3 | 0,8 | 300 | 75 |
| Фенилаланин+Тирозин/ Phenilalanine+Tyrosine | 25 | 1,8 | 3,5 | 200 | 50 |
| Сумма незаменимых аминокислот | | 12,2 | 12,7 | 104 | 26 |

Анализ содержания аминокислот в семенах льна свидетельствует, что их потребление обеспечивает организм всеми незаменимыми аминокислотами. Сумма незаменимых аминокислот в 100 г семян льна - 12,67г, что составляет 104% от рекомендуемого количества для взрослого человека весом 70 кг; 25 г семян льна (\approx 2 столовые ложки) в суточном рационе могут обеспечить 26% необходимого содержания незаменимых аминокислот.

4 Изучение процесса экстракции из семян льна и льняного жмыха для получения пищевых ингредиентов

Выделение водорастворимых биополимеров из растительного сырья основаны на экстракции при различных условиях процесса: рН, температуре, продолжительности, соотношения сырья и экстрагента. В связи с этим для разработки технологий пищевых ингредиентов, в частности белковых и полисахаридных продуктов, целесообразно исследовать процесс их экстракции из льняного сырья, а также характеристики целевых продуктов. Для достижения поставленной цели в настоящем разделе были поставлены следующие задачи:

- исследовать процесс экстракции полисахаридов из семян льна;
- исследовать влияние технологических параметров на соотношение основных макронутриентов в целевых продуктах экстракции;
- провести сравнительное спектроскопическое исследование целевых продуктов, выделенных из неразрушенных (цельных) и разрушенных (жмых) семян льна;
- определить реологические свойства полисахаридных продуктов в различных средах;
- оценить возможность получения полисахаридных фракций с различной вязкостью в качестве потенциального компонента для регулирования структуры пищевых систем.

4.1 Исследование процесса экстракции полисахаридов из семян льна

Исследование процесса экстракции полисахаридов слизи из семян льна с целью получения пищевых ингредиентов проводили стандартными химическими методами и с использованием оптических методов – рефрактометрии и ИК-спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (ИКС НПВО).

Продуктами водной экстракции цельных семян льна были сухие полисахаридные экстракты и полисахаридные комплексы. Полисахаридные комплексы получали из водных экстрактов осаждением избытком этилового или изопропилового спирта с последующей сушкой.

Водную экстракцию полисахаридов проводили из семян льна разных сортов: как масличных, так и льна-долгунца. Эффективность экстракции полисахаридов слизей, оцененная по выходу полисахаридного комплекса относительно сырья, зависела от изучаемого сорта льна (таблица 2), в частности сочетания таких характеристик, как суммарное количество полисахаридов (СумПС) и содержание в них высокомолекулярных фракций (ВМФр),

Таблица 2- Характеристика сырья и продуктов водной экстракции семян льна

| Характеристика семян льна | | | | | | Сухой остаток экстракта, % | Выход ПС комплекса, % | Содерж. белка в ПС комплексе, % |
|---------------------------|---------------------------|------------|------------------|---------------|--------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Сорт | Направление использования | Цвет семян | Содерж. белка, % | Содержание, % | | | | |
| | | | | СумПС | ВМФр | | | |
| Ручеек | масличный | коричневый | 20,29 | 2,95 | 55,5 | 1,18 | 5,68 | 10,92 |
| Omega | масличный | желтый | 15,00 | 3,3 | 44,0 | 1,14 | 5,30 | 13,73 |
| Северный | масличный | коричневый | 19,80 | 3,67 | 39,5 | 1,25 | 5,68 | 8,24 |
| Ленок | лен-долгунец | коричневый | 21,25 | 3,3 | 39,4 | 1,40 | 5,50 | 7,51 |
| Цезарь | лен-долгунец | коричневый | 23,13 | 1,98 | 45,5 | 1,44 | 3,00 | 8,01 |
| Дипломат | лен-долгунец | коричневый | 25,81 | 3,14 | 47,8 | 1,52 | 6,09 | 7,85 |
| ЛМ-98 | масличный | желтый | 24,25 | 4,89* | 44,4 | 1,60* | 6,12 | 7,86 |
| Алексим | лен-долгунец | коричневый | 22,68 | 2,70 | 68,0* | 1,60* | 7,25* | 7,38 |

*максимальные значения показателей

Содержание белка в полисахаридных продуктах не зависело от его количества в сырье. Можно предположить, что содержание белка определяется внутренними структурно-функциональными связями, реологическими характеристиками компонентов, то есть сортовыми особенностями семян.

Полисахаридные экстракты и комплексы, полученные из разных сортов семян льна, по своему компонентному составу идентичны, на что указывают их ИК-спектры (рисунок 2), которые отличались практически только интенсивностью полос.

Присутствие протеинов в полисахаридных продуктах подтверждается наличием соответствующей полосы в области 1540–1680 см⁻¹ – валентных колебаний карбонильных С=О-группировок пептидной связи строительных блоков (аминокислот) белковых структур.

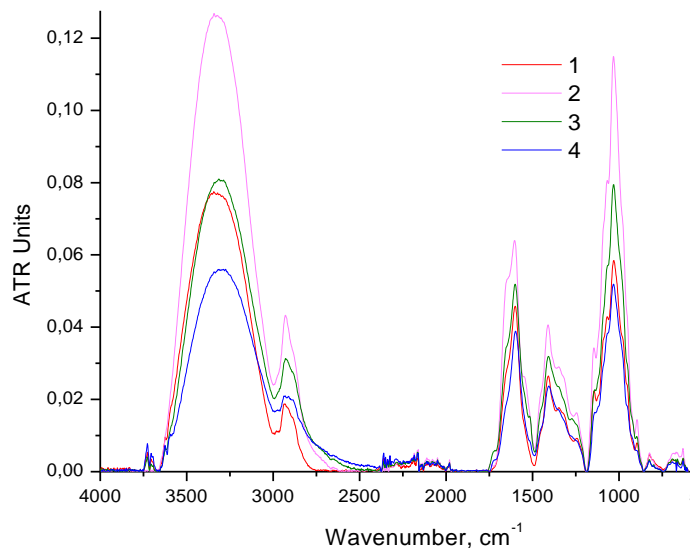


Рисунок 2 – ИК-спектры сухих образцов полисахаридных продуктов из семян сортов Ручеек и ЛМ-98: 1 – ПС-комплекс ЛМ-98, 2 – ПС комплекс Ручеек, 3 – экстракт Ручеек, 4 – экстракт ЛМ-98

Исследование кинетики процесса экстракции позволяет выявить, как интенсивно происходит выделение растворимых веществ, в том числе и сопутствующих – белковых и липидных компонентов.

С целью изучения кинетики процесса экстракции определяли количество сухого вещества экстракта, а также содержание в сухом экстракте протеина и жира в зависимости от экспозиции (рисунки 3, 4).

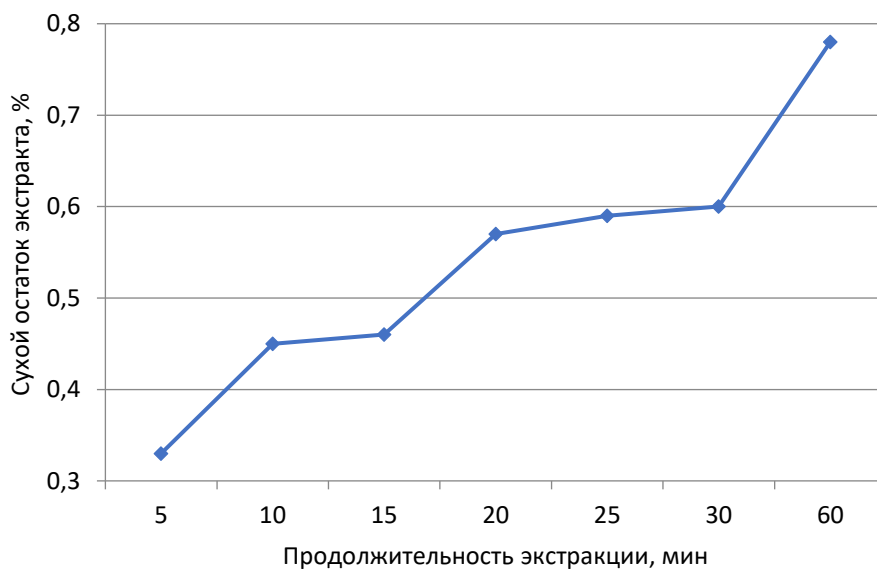


Рисунок 3 – Изменение сухого остатка экстракта в зависимости от продолжительности процесса

Некоторая ступенчатость в увеличении концентрации водных растворов слизей, вероятно, связана с последовательным набуханием и переходом в раствор различных фракций слизиобразующих полисахаридов. Практически максимальное нарастание количества белка в сухом экстракте наблюдалось в первые 10 минут протекания процесса. Можно предположить, что первыми из семян льна экстрагировались в основном полимеры с более низкой молекулярной массой, которая характерна для кислой фракции. В сухих экстрактах полисахаридов присутствовало небольшое количество липидных компонентов (рисунок 4), вероятно также ассоциированных с полисахаридными и белковыми структурами.

Анализ интенсивности полос ИК спектров этих образцов в области 1540-1680см⁻¹ выявил корреляцию с содержанием в них общего белка. Фракции, выходящие в

раствор в первые 10 минут, содержали максимальное количество протеиновых веществ (8,6%).

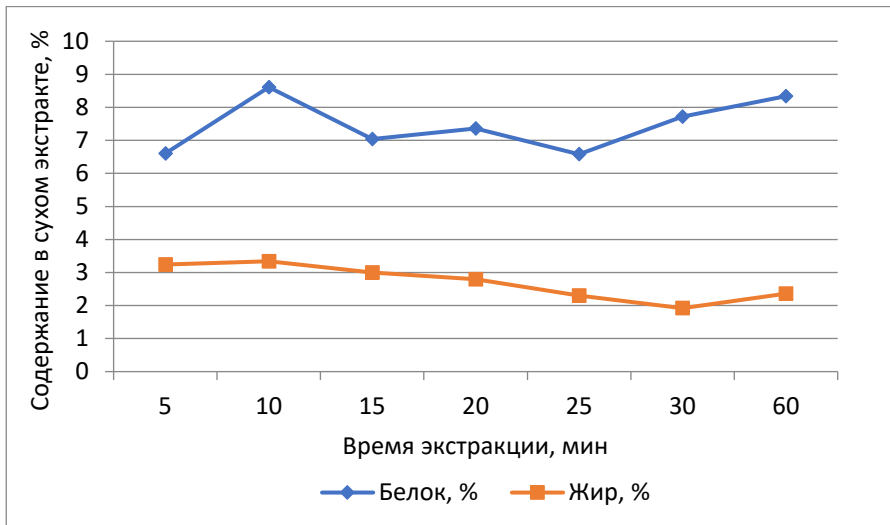


Рисунок 4 – Изменение содержания белка и жира в полисахаридном продукте в зависимости от продолжительности процесса

Следующий пик увеличения содержания общего белка (17%) можно объяснить его выходом непосредственно из ядра, так как оболочка семян набухает и частично соскальзывает с него.

Анализ ИК-спектров полисахаридных продуктов, полученных за разное время, позволил сделать вывод, что при водной экстракции в условиях эксперимента из семенной оболочки цельных семян льна извлекались полисахариды, содержащие в своем составе полипептидные фрагменты разного состава и, возможно, размера. Полученные данные являются научной основой для дальнейших разработок условий последовательно-раздельного выделения полисахаридных фракций, которые индивидуально обладают разным набором характерных функциональных свойств и могут целенаправленно использоваться в различных областях пищевой промышленности, косметологии, в медицинской и фармацевтической практике.

4.2 Исследование влияния технологических параметров на содержание белка и протеин-полисахаридные взаимосвязи в продуктах экстракции

С целью изучения влияния условий экстракции на содержание протеиновой составляющей в полисахаридных продуктах и протеин-полисахаридные взаимосвязи была проведена последовательная экстракция полисахаридных продуктов из семян льна при разных температурах и рН.

Было установлено, что на содержание протеиновой составляющей в полисахаридных экстрактах и комплексах влияли:

- рН среды, температура, продолжительность и последовательность этапов технологического процесса: повышение температуры экстракции и снижение рН среды способствовали значительному повышению (в 5-10 раз) содержания белковых веществ в полисахаридном продукте;

- эти же технологические параметры во многом определяли соотношение долей, прочность и механизм химической связи, по меньшей мере, трех видов полипептидных структур с полисахаридной матрицей; это наглядно проявлялось в варьировании интенсивности, формы, рисунка структуризации и положения

максимумов в составе полосы в области $1700\text{--}1500\text{ см}^{-1}$, где проявляют себя протеиновые компоненты в составе сложных и многообразных полисахаридных комплексов.

4.3 Исследование влияния способа переработки семян льна на соотношение макронутриентов в целевых продуктах

Целью этой части раздела являлось исследование влияния условий переработки льняного сырья на соотношение основных компонентов - полисахаридов, белка, липидов и их спектральное проявление в целевых продуктах экстракции. В качестве льняного сырья использовали: семенные оболочки до и после удаления слизей; ядра семян льна до и после обезжиривания; семена льна целые и измельченные; льняной жмых и шрот.

ИК-спектры исходных образцов ядра и оболочки (рисунок 5) были практически аналогичны и отличались, в основном, интенсивностью полос. Качественное отличие состояло в наличии в спектре оболочки слабой полосы 1710 см^{-1} , характерной для полипептидных структур, которые наряду с белками присутствуют в семенной оболочке.

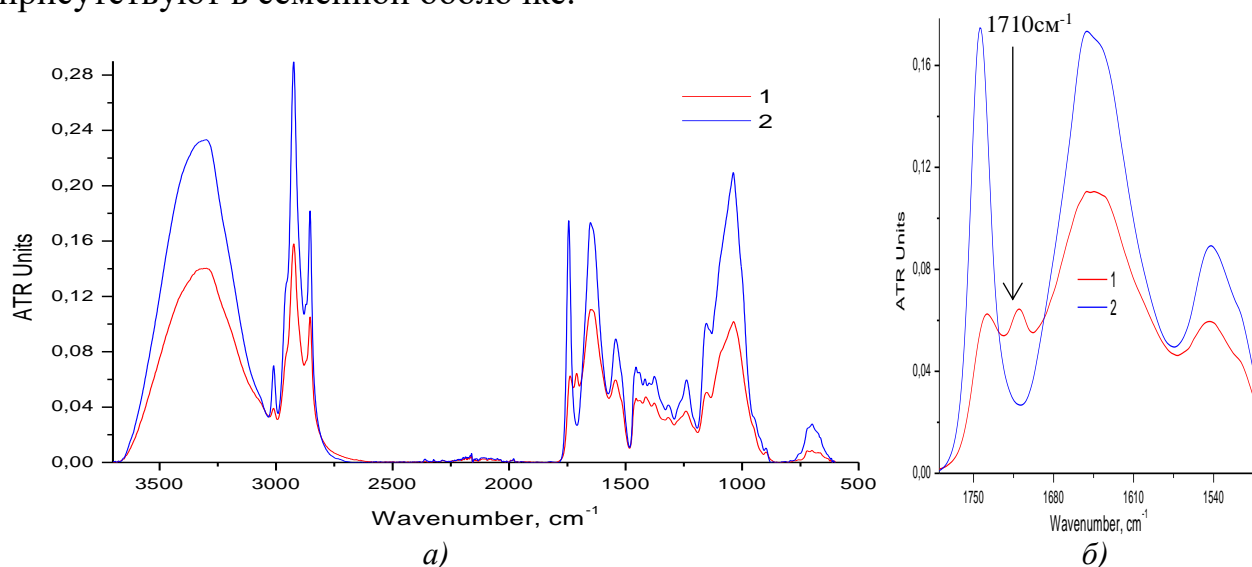


Рисунок 5 – ИК-спектры исходных образцов семенной оболочки и ядра семян льна: а) 1- ОБ1, 2 – Я1; б) фрагмент в области $1750\text{--}1500\text{ см}^{-1}$

Сравнительный анализ ИК-спектров оболочек показал, что после удаления слизи все основные полосы были четкими и более интенсивными, особенно в областях, характерных для кратных связей ненасыщенных жирных кислот и полос Амид I и Амид II.

Анализ ИК-спектров ядер показал, что процесс обезжиривания гексаном не затрагивал белковый комплекс семян льна, так как интенсивность белковых полос не изменялась. Кроме того, при этом удалялись преимущественно насыщенные и частично мононенасыщенные кислоты жирного ряда. Об этом свидетельствовало заметное снижение интенсивности соответствующих полос асимметричных и симметричных колебаний метиленовых групп. Процесс практически не затрагивал полиненасыщенные жирные кислоты, о чем судили по близости в обоих спектрах

интенсивности полос 3008 см^{-1} , характеризующих валентные колебания СН-групп при двойных связях в структурных блоках ненасыщенных липидных компонентов.

Результаты анализа ИК-спектров продуктов экстракции показали, что белковые области их ИК-спектров различались в зависимости от способа предварительной обработки сырья, что свидетельствует о разнообразии протеиновой составляющей.

Извлечение полисахаридов слизи из семенной оболочки и цельных семян методом водной экстракции сопровождалось выходом в раствор в основном полипептидных структур, которые характеризуются в области $1750\text{-}1500\text{ см}^{-1}$ одиночной уширенной структурированной полосой, интенсивность которой изменялась практически синхронно с интенсивностью полисахаридной (1030 см^{-1}) и высокочастотной ($3750\text{-}3020\text{ см}^{-1}$) полос. Это свидетельствует о достаточно прочной связи пептидов с полисахаридами.

Продукты водной экстракции измельченных семян льна отличались значительным содержанием как белка, так и липидов, ($32,0 - 37,0$) и ($28,0 - 36,0\%$), соответственно. По содержанию компонентов продукты водной экстракции из измельченных семян льна больше соответствуют названию белок-полисахарид-липидные (БПСЛ) комплексы и экстракты. В ИК спектре этих комплексов протеины представлены двумя полосами, типичными для белковых структур Амид-I и Амид-II, в то время как в спектре ПС-комплексов, выделенных из цельных семян, присутствовала одна структурированная полоса, характерная для полипептидов.

Анализ ИК-спектров белковых концентратов, полученных из промышленного жмыха после «холодного» прессования и шрота семян льна после последовательной водной экстракции слизи и удаления липидов гексаном, показал идентичность спектров по структуре полос (классический дуплет полос АмидI и АмидII), интенсивность которых коррелировала с содержанием белка.

В таблице 3 представлены продукты водной экстракции из семян льна и содержание в них протеиновой составляющей.

Таблица 3 – Разнообразие продуктов водной экстракции льняного сырья

| Наименование сырья | Наименование продукта | Содержание белка в продукте, % |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Цельные семена льна, льняная оболочка | Сухой полисахаридный экстракт | 7-20 |
| | Полисахаридный комплекс | |
| Измельченные семена | Белок-полисахарид-липидный комплекс БПСЛ | 31-37 |
| | Сухие белковые экстракты БПСЛ | |
| Льняной жмых, шрот | Белковый концентрат | 50-77 |
| | Сухой белковый экстракт | 40-50 |
| | Дополнительный продукт, содержащий белки не осаждающиеся в ИЭТ | 38-42 |

Из неразрушенных семян льна, либо отделенной оболочки можно выделить полисахариды, связанные с полипептидами, которые в свою очередь характеризуются высокой биологической активностью. Из льняных жмыхов и шротов, варьируя параметры процесса, были получены продукты с различным содержанием протеина, связанного с полисахаридами. Функционально-

технологические свойства таких продуктов в значительной степени определяются соотношением их белковой и полисахаридной части.

Таким образом, водная экстракция в зависимости от способа обработки сырья позволяет получать пищевые ингредиенты с заданным набором функционально-технологических свойств для получения широкого ассортимента продуктов разных товарных групп.

4.4 Изучение реологических свойств полисахаридных продуктов

В пищевых технологиях используют в качестве растворителей воду, сахарные и солевые растворы. Для оценки поведения полисахаридных продуктов в пищевых средах исследовали их вязкостные характеристики в различных растворителях.

Определение кинематической и динамической вязкости нативных экстрактов полисахаридов и 0,2%-ных водных растворов полисахаридных комплексов показало, что их величина определяется сортом семян (таблица 4).

Таблица 4 – Вязкость экстрактов льняных слизей, выделенных из семян льна разных сортов

| Сорт семян льна | Направление использования | Кинематическая вязкость, γ , мм ² /с | Динамическая вязкость, $\eta \cdot 10^{-3}$ МПа·с |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| ЛМ-98 | Масличный | 102,41±3,10 | 104,74±3,14 |
| РУЧЕЕК | Масличный | 50,40±1,51 | 51,16±1,53 |
| ЛЕНОК | Лен-долгунец | 46,81±1,40 | 47,33±1,42 |
| ДИПЛОМАТ | Лен-долгунец | 21,71±0,65 | 22,05±0,66 |

Очевидно соотношение двух основных фракций полисахаридов слизей семян льна: арабиноксиланов (пентозаны) и полигалактуроновой кислоты (пектин), обладающих разной молекулярной массой определяют вязкостные свойства полисахаридов слизи семян льна.

Результаты определения характеристической вязкости ПС комплексов в наиболее популярных в пищевой промышленности растворителях: воде, растворах сахарозы и NaCl представлены на рисунке 6.

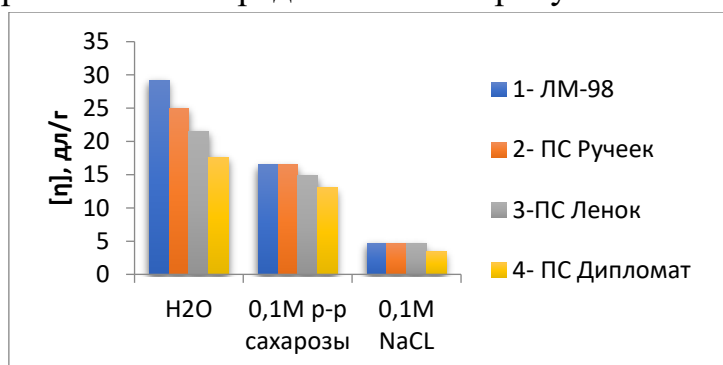


Рисунок 6 –
Характеристическая вязкость
ПС комплексов семян льна в
различных растворителях

Характеристическая вязкость в растворе NaCl снижалась на 70-80% по сравнению с водными растворами этих же образцов. Резкое снижение вязкости в полярных растворителях (NaCl) можно объяснить ослаблением межмолекулярного электростатического притяжения, которое удерживает макромолекулы в нативной форме. Следует отметить, что межсортные изменения в величине характеристической вязкости водных растворов варьировались в пределах 40%, тогда

как значения этого показателя в растворах сахарозы и соли менялись не так значительно, что наглядно видно на диаграмме рисунка 6.

Полученные данные следует учитывать при введении полисахаридных продуктов из семян льна, представляющих сочетание пентозанов и пектинов, в качестве регуляторов консистенции и вязкости пищевых систем.

4.5 Изучение процесса осаждения полисахаридных комплексов из водных экстрактов

Природные полисахариды характеризуются широким молекулярно-массовым распределением, различным соотношением фракций и их структурой, что влияет на их функционально-технологические свойства, осложняет получение структурно-однородных образцов со стабильными характеристиками.

С целью выбора оптимального осадителя полисахаридов семян льна проводили их выделение из водных экстрактов этиловым и изопропиловым спиртами. Было установлено, что при осаждении полисахаридов льняной слизи изопропиловым спиртом максимальный выход 80% достигался при его концентрации 66,7%. В случае использования этилового спирта выход при этой же концентрации не превышал 74%. Одной из причин неполного осаждения полисахаридов из растворов может быть наличие фракции, которые растворимы при высоких концентрациях осадителей.

Выделение ПС комплексов при варьировании концентрации осадителя дает возможность получения полисахаридных фракций, с различной растворимостью и молекулярной массой. При использовании различных концентраций осадителя были получены 4 фракции полисахаридов семян льна: Ф23, Ф38, Ф48, Ф55, отличающихся растворимостью. Выход фракций относительно сухого остатка экстракта при использовании в качестве осадителей изопропилового и этилового спирта представлен на рисунке 7.

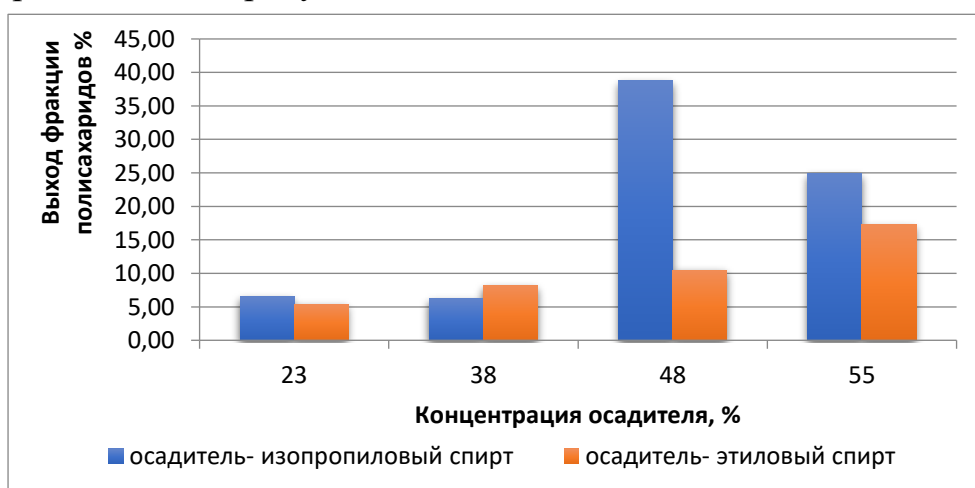


Рисунок 7 - Выход полисахаридных фракций при различных концентрациях осадителей

Для характеристики полученных фракций определяли их характеристическую вязкость $[\eta]$ и содержание в них белка, представленные в таблице 5.

Судя по содержанию белка в полисахаридных фракциях можно предположить, что, при небольших концентрациях осадителя осаждаются полимеры кислой фракции, образующие ассоциаты с протеинами, основу которой составляет полигалактуроновая кислота. Полисахаридная фракция с наибольшей

характеристической вязкостью обладала высокой стабильностью в растворе, что свидетельствует о значительной разветвленности боковых цепей. Такие полисахариды семян льна относят к арабиноксиланам, нейтральная фракция которых характеризуется незначительным содержанием белка.

Таблица 5 – Характеристика полисахаридных фракций

| Фракция | Осадитель | | | |
|---------|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| | Изопропиловый спирт | | Этиловый спирт | |
| | $[\eta] \cdot 10^2$ мл/г | Содержание белка, % | $[\eta] \cdot 10^2$ мл/г | Содержание белка, % |
| Ф23 | 6,63±0,46 | 7,78±0,39 | 8,00±0,56 | 6,81±0,34 |
| Ф38 | 10,08±2,14 | 7,20±0,36 | 9,28±0,65 | 6,42±0,32 |
| Ф48 | 7,71±0,54 | 6,02±0,30 | 6,39±0,45 | 5,00±0,25 |
| Ф55 | 19,77±2,60 | 3,30±0,17 | 13,28±0,93 | 3,00±0,15 |

Полученные данные имеют научное и практическое значение для повышения структурной однородности полисахаридных продуктов и применения таких очищенных монокомпонентов (пектинов, пентозанов) в качестве эффективных и безопасных платформ (носителей) для потенциальных средств повышения иммунитета. Как показали международные научные исследования, полисахариды могут связываться с рецепторами клеток легче, чем другие биомолекулы, инициируя серию биохимических реакций.

5 Разработка технологии микронизации семян льна для повышения их пищевой безопасности и органолептических свойств

В настоящее время безопасность пищевого сырья и продукции является одним из важнейших трендов функционирования и развития пищевой промышленности. Тепловая обработка является универсальным способом сохранения пищевой продукции, так как способствует, прежде всего, инактивации ферментных систем, а также созданию определенных сенсорных качеств пищевых объектов. Инфракрасное (ИК) излучение нашло широкое применение в различных отраслях промышленности. Процесс быстрого нагрева растительного сырья в потоке инфракрасного (ИК) излучения называется высокотемпературной микронизацией (ВТМ), важным итогом которого является повышение потребительских свойств, стабильности компонентного состава пищевых веществ при хранении и дальнейшей переработке.

С целью сохранения компонентного состава, повышения пищевой безопасности и улучшения органолептических свойств семян льна использовали ИК-обработку. Разработка технологических решений по микронизации семян льна проведена на основе исследований влияния ИК-обработки, комбинированной с предварительным пропариванием, на показатели окислительной порчи (кислотное и перекисное число), активность гидролитических и окислительных ферментов, содержания белковых и липидных компонентов, органолептических свойств семян льна.

5.1 Изучение влияния ИК-обработки на содержание сырого жира и кислотного числа масла семян льна

Проведенные исследования выявили влияние ИК-обработки как на содержание сырого жира, так и на значения кислотного числа. Экспериментально установлено

(рисунок 8), что повышение температуры нагрева до 110°C при ИК-обработке приводило к увеличению содержания сырого жира относительно исходного значения на 16,2%. Это объясняется переходом фосфолипидов и других растворимых веществ в извлекаемые липиды. Выше 130°C величина этого показателя не изменялась.

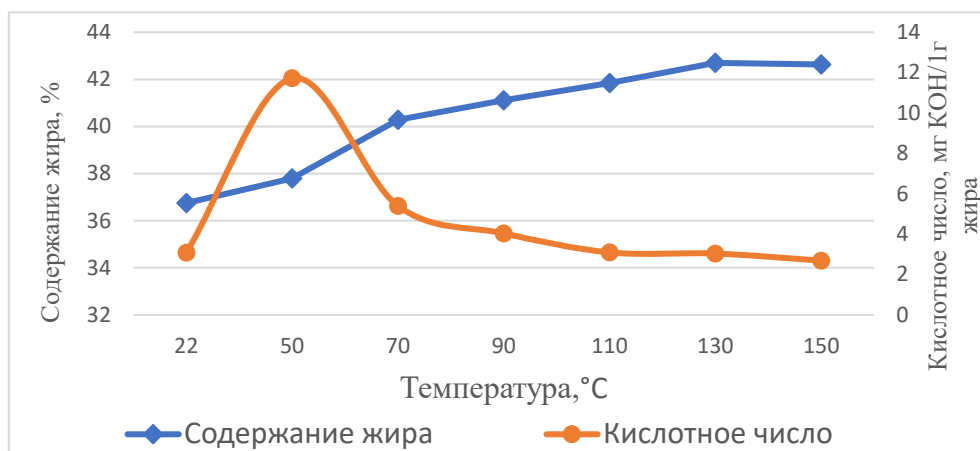


Рисунок 8 - Влияние ИК-обработки на содержание сырого жира и кислотное число семян льна

Наблюдаемое повышение кислотного числа жира с максимальным значением при 50°C, вероятно, является следствием гидролиза, прежде всего полиненасыщенных жирных кислот, катализируемого липазой и образования свободных жирных кислот. Снижение значений этого показателя в области 130-150°C можно объяснить снижением активности ферментного комплекса при повышении температуры и последующей инактивацией ферментов, в том числе липазы.

5.2 Исследование влияния гидротермической обработки на гидролитические и окислительные ферменты семян льна

С целью определения возможности ингибирования гидролитических и окислительных процессов исследовали влияние предварительного увлажнения на активность ферментов липазы и липоксигеназы семян льна. В качестве метода увлажнения использовали пропаривание, так как в условиях температуры окружающей среды увлажненные семена льна покрывались набухшей слизью, что осложняло их дальнейшую переработку.

Эксперименты показали, что при достижении влажности в процессе пропаривания выше 30% семена льна становились слизистыми, что затрудняло их дальнейшую переработку. Поэтому гидротермическую обработку семян льна

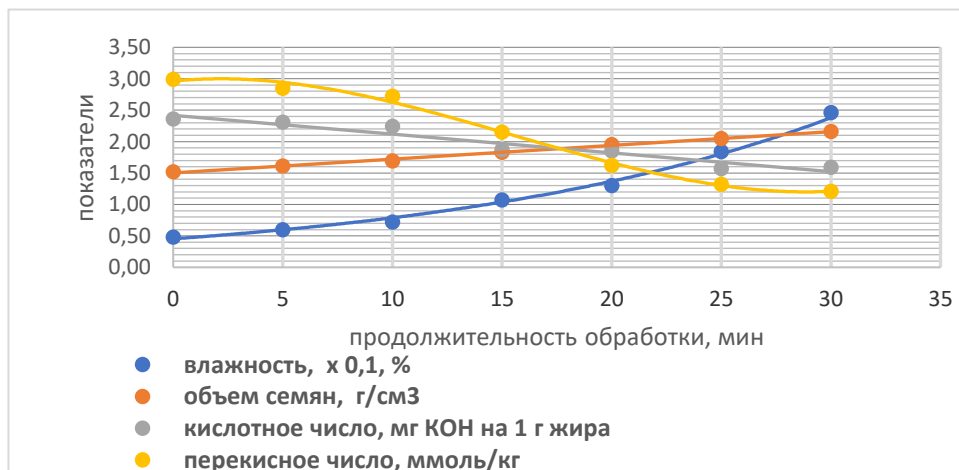


Рисунок 9 – Результаты гидротермической обработки семян льна

проводили до критической влажности 25%. Проведенные исследования выявили увеличение объема семян и снижение уровня показателей кислотного и перекисного числа, в процессе пропаривания (рисунок 9). Последние характеристики в большой степени зависят от активности ферментов липазы и липоксигеназы, которые имеют белковую природу и денатурируются при повышении температуры.

Исследования влияния уровня влажности после пропаривания на активность указанных ферментов позволили установить, что активность липазы с увеличением влажности семян льна резко снижалась и уже при влажности 13% достигала своего минимального значения, а активность липоксигеназы минимального значения достигала при влажности 25% (рисунок 10).

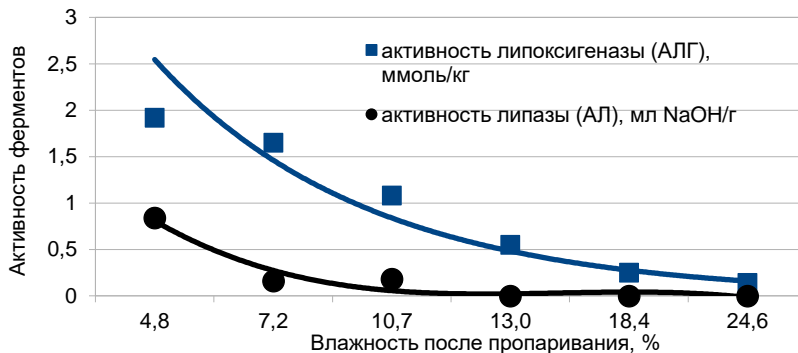


Рисунок 10 – Влияние влажности семян льна на активность липазы и липоксигеназы после ИК-обработки

Влияние влажности на эти ферменты объясняется их белковой природой. При повышении влажности обычно начинается процесс гидролитического распада белков. Дальнейшее повышение температуры вызывает денатурацию белковой части ферментной молекулы, что и отражается на их активности.

После проведения ИК-обработки семян льна без предварительного увлажнения активность липазы не достигала своего нулевого значения и снижалась до 35,7% относительно своего исходного значения, а активность липоксигеназы – до 15,1%.

5.3 Обоснование рациональных параметров микронизации семян льна

На основании проведенных исследований была разработана последовательность технологических операций микронизации семян льна представленная на рисунке 11.

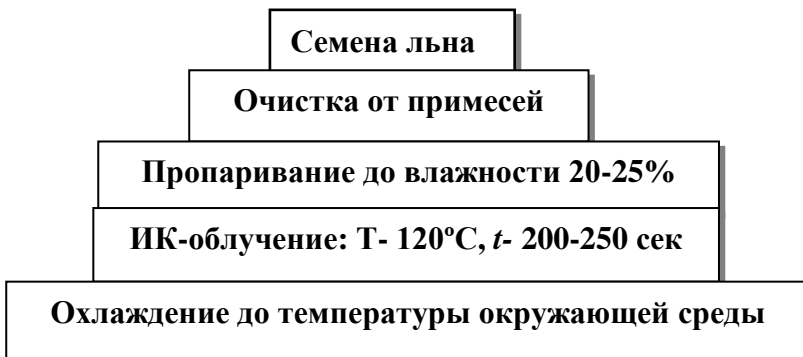


Рисунок 11– Технологическая схема микронизации семян льна

Установлено максимальное значение влажности при пропаривании (25%), выше которого семена льна становились слизистыми, что осложняло проведение следующей технологической операции.

При температурном режиме ИК-облучения 120°C был достигнут минимальный уровень активности окислительных ферментов и содержания влажности до 4%. При таком влагосодержании гидролитические и

окислительные процессы, влияющие на компонентный состав, практически не протекают.

Разработанные технологические решения, включающие параметры осуществления предварительной гидротермической обработки и ИК-обработки защищены патентом РФ № 2464799.

5.4 Исследование влияния микронизации на биологическую ценность и органолептические свойства семян льна и льняной муки

Анализ результатов исследований выявил, что при микронизации, как семян льна, так и льняной муки вариации общего содержания белка были незначительны и укладывались в пределы статистической погрешности метода определения. Это свидетельствует о том, что в процессе обработки общее содержание белка в льняном сырье практически не изменялось.

На основании исследований по влиянию микронизации на биологическую ценность семян льна и льняной муки выявили изменение соотношения белковых фракций в семенах льна и льняной муке до и после микронизации (рисунок 10).

В семенах льна после микронизации значительно уменьшалось содержание водорастворимой фракции (альбуминов) – практически в 4 раза, и увеличивалось содержание глютелинов (рисунок 12а). При даже кратковременном тепловом воздействии происходит денатурация белка, при которой меняется состав и соотношение белковых фракций.

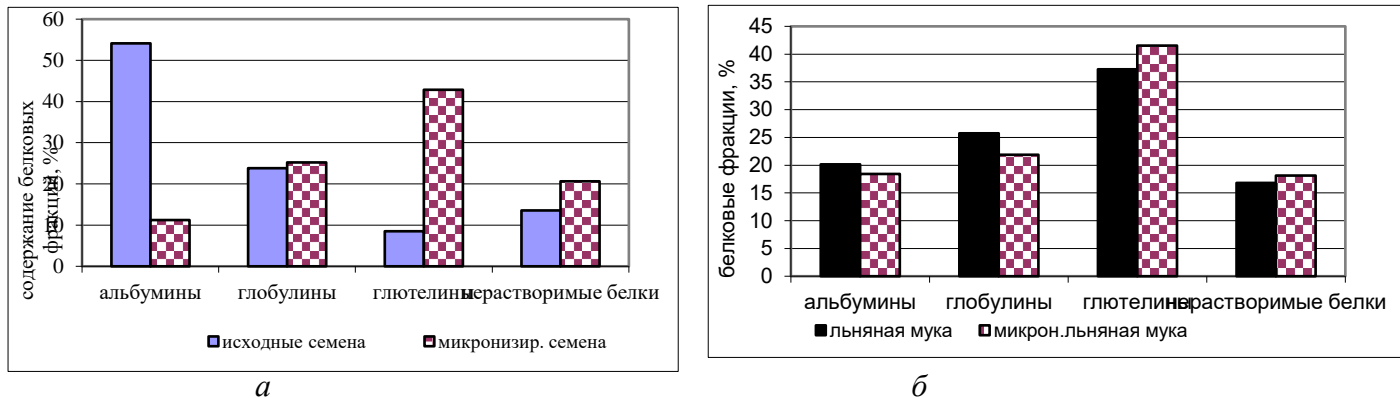


Рисунок 12 - Соотношение белковых фракций в исходных и микронизированных а) семенах льна, б) льняной муке

Белковый комплекс льняной муки уже денатурирован в результате технологических операций «холодного» прессования. Дальнейшая денатурация, происходящая при микронизации, незначительно меняет соотношение белковых фракций льняной муки: содержание альбуминов и глобулинов снизилось на 1,75 и 3,85% соответственно, содержание глютелинов увеличилось в микронизированной муке на 4,28%. При этом денатурированный белок становится более доступным для ферментов.

Сравнительный анализ вкусовых качеств семян льна: сырых, обжаренных и микронизированных, проведенный методом балловой оценки, позволил установить, что после микронизации у семян льна в большей степени усиливался ореховый и сладкий привкус (рисунок 13).

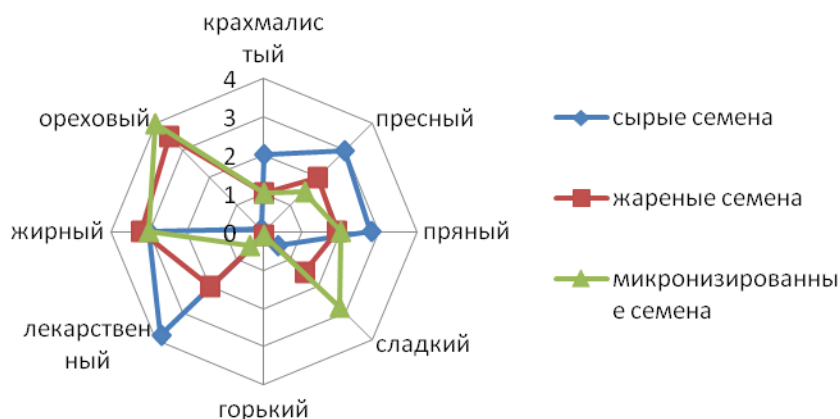


Рисунок 13-
Органолептические
свойства семян льна

Вкусовые изменения вносят, в данном случае, продукты реакции Майяра, образующиеся при совместном нагревании редуцирующих сахаров, аминокислот, белков, присутствующих в семенах льна.

Таким образом, как показали проведенные исследования, кратковременная высокотемпературная микронизация семян льна и льняной муки способствует снижению активности их гидролитических и окислительных ферментов, повышению доступности белкового комплекса и улучшению вкусовых свойств, что является хорошей перспективой для повышения качества льняного сырья.

6 Разработка технологий пищевых ингредиентов для продуктов здорового питания

В последние десятилетия известность приобрели льняные протеины, характеризующиеся полноценным аминокислотным составом, и полисахариды льняной слизи (растворимые пищевые волокна) в связи с ростом мирового рынка продуктов здорового питания и популяризации здорового образа жизни. Однако несмотря на биохимический и функциональный потенциал этих макронутриентов семян льна их промышленное производство не осуществлено. Целью настоящего раздела являлась разработка технологий получения белкового концентрата из льняного жмыха и полисахаридного экстракта из семян льна.

6.1 Разработка технологии получения белкового концентрата из льняного жмыха

Получение концентрированных белковых продуктов непосредственно из семян льна не эффективно вследствие высокого содержания масла. Для получения белковых концентратов целесообразно использовать льняной жмых, содержание белка в котором после удаления масла может составлять от 25 до 45%.

Сложность выделения белков из льняного жмыха объясняется наличием значительного количества полисахаридов слизей, которые повышают вязкость белковых экстрактов и осложняют проведение технологических операций их отделения и осаждения.

С целью оценки повышения эффективности выделения белка проводили предварительное удаление слизей из льняного жмыха.

На основании исследований были определены условия удаления слизей, при которых наблюдался минимальный выход белка в экстракт вследствие соэкстракции с полисахаридами – 7,7%.

Выход белка в экстракт определяется такими параметрами, как ионная сила экстрагирующего раствора, рН среды, гидромодуль, температура и продолжительность процесса. Выбор интервала варьирования независимых переменных, проводился на основании предварительных экспериментов: гидромодуль (10, 15, 20); Т(20, 40, 60, 80°С); продолжительность (1, 2, 3, 4, 5ч). Были установлены параметры проведения экстракции белка из бесслизевое льняного жмыха: гидромодуль – 20; Т – 40-45°С; продолжительность – 2 ч; солевой раствор 0,5-0,8М HCL; рН 9,5-10. На основании результатов проведенных исследований была разработана технологическая схема получения белкового концентрата из льняного жмыха. Предварительное удаление водорастворимых полисахаридов из льняного жмыха и проведение экстракции белка соевым экстрагентом в щелочной среде позволило выделить более 50% белка в раствор и получить концентрат, содержащий 65% белка. Разработанные технологические решения (а именно, предварительное удаление слизей, параметры осуществления экстракции) защищены патентом РФ № 2437552.

Разработка технологии получения белкового концентрата, адаптированная для малых предприятий

Известные технологические решения для выделения белка из льняного сырья удовлетворительны в лабораторных масштабах. Вероятно, этим объясняется отсутствие производства белковых концентратов из льняного сырья. Целью этой части раздела являлась разработка технологии получения льняного белкового концентрата, адаптированная для промышленного производства.

Результаты лабораторных исследований послужили основой для выбора параметров осуществления экстракции в пилотном масштабе. С целью определения сырья для масштабирования экстракционного выделения белка были обобщены многолетние (2010 – 2018 гг) данные по выходу и содержанию белка в целевых продуктах, полученные из льняного жмыха, подвергнутого различной обработке (таблица 6).

Таблица 6 – Характеристика сырья и льняного белкового концентрата

| Сырье | Характеристика сырья | | Выход целевого продукта, % | Содержание белка в целевом продукте, % |
|----------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| | Содержание белка, % | Содержание жира, % | | |
| Жмых промышленный | 30 – 31 | 8 – 10 | 8,0 – 15,0 | 55,0 – 66,0 |
| Жмых промышленный обезжиренный | 33 – 34 | 1 – 2 | 8,0 – 12,0 | 55,0 – 65,0 |
| Жмых промышленный бесслизевый | 31 – 32 | 7 – 9 | 10,0 – 12,0 | 60,0 – 69,0 |
| Семена бесслизевые, обезжиренные | 26 – 29 | 10 – 12 | 7,0 – 9,0 | 50,0 – 60,0 |

Анализ данных, приведенных в таблице 6, показал, что дополнительная обработка сырья повышала содержание белка в целевом продукте – на 4,5% и практически не приводила к повышению выхода продукта.

В связи с этим в условиях производства рациональным решением должно быть использование в качестве сырья промышленного льняного жмыха, остающегося после удаления масла методом «холодного» прессования. Разработанная технологическая схема получения белкового концентрата для малых предприятий, представленная на рисунке 14.

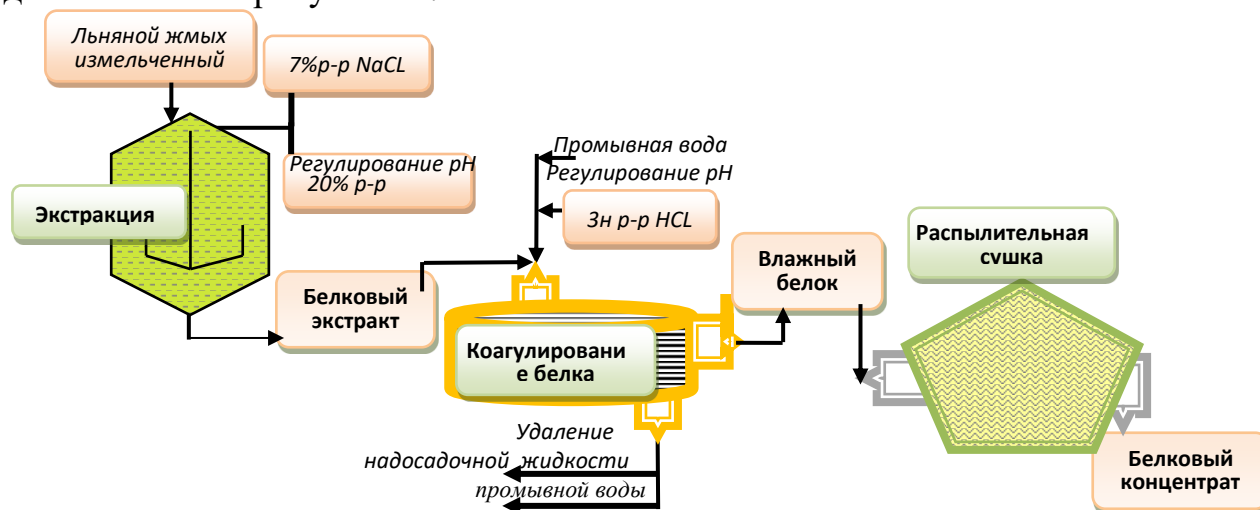


Рисунок 14 - Технологическая схема получения белкового концентрата из льняного жмыха

Технологические параметры основных операций приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Технологические параметры получения концентрата белка из льняного жмыха.

| Сырье, реагенты | А* | Б** | Технологические параметры | А* | Б** |
|----------------------------------|----------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|-----------|
| Сырье | Льняной жмых, измельченный | | Гидромодуль Время экстракции | 20 2 ч | 10 1 ч |
| Экстрагент | 7% р-р NaCL | H ₂ O | рН экстракции | 8,5-9,0 | |
| Реагент для регулирования рН | 20%-ный р-р NaOH | | Температура | 40°C | |
| Реагент для коагулирования белка | 3н р-р HCL | | Время коагулирования белка | 1 ч | |
| Промывка влажного продукта | H ₂ O, Т - 70°C | | Распылительная сушка продукта | Т на входе – 144-146 °С Т на выходе – 80-82°C | |

*А – основная экстракция; **Б – повторная экстракция

С целью повышения выхода целевого продукта в технологическую схему ввели повторную щелочную экстракцию из льняного жмыха, параметры проведения которой представлены в таблице 6. Были определены режимы распылительной сушки, представленные в таблице 6. Технология получения белкового концентрата была опробована в условиях экспериментального цеха ВНИИМС (г. Углич) при переработке 10 кг льняного жмыха. Таким образом, в пилотном масштабе был наработан отечественный белковый концентрат из льняного жмыха.

Полученный белковый продукт соответствует концентратам и имеет характеристики, указанные в таблице 8.

Таблица 8 - Характеристика льняного белкового концентрата

| Показатель | Льняной белковый концентрат | Льняной белковый концентрат | |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| | | Органолептические показатели | |
| Содержание белка, % | 58,00±2,90 | Внешний вид | Мелкодисперсный порошок |
| Содержание жира, % | 5,00±0,25 | Цвет | Светло-бежевый |
| Содержание полисахаридов, % | 25,50±1,27 | Запах | Без запаха |
| Содержание влаги, % | 3,00±0,15 | Вкус | Без вкуса |
| Зольность, % | 3,50±0,17 | | |
| pH 1% водного раствора | 6,0 | | |

Определение НАК в льняном белковом концентрате позволило рассчитать их аминокислотные скоры. Аминокислотный скор льняного белкового концентрата составил 64% по лизину. Рассчитанная степень удовлетворения суточной потребности взрослого человека (≈ 70 кг) в незаменимых аминокислотах при использовании льняного белкового концентрата представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Содержание НАК в льняном белковом концентрате

| Показатель | Вал | Изол | Лей | Лиз | Мет+ Цис | Тре | Фен+Тир |
|---------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|----------|------|---------|
| Суточная потребность НАК, г/70 кг веса (ФАО/ВОЗ) | 1,82 | 1,40 | 2,73 | 2,1 | 1,05 | 1,05 | 1,75 |
| *Содержание НАК, г/100г продукта | 3,14 | 2,65 | 2,76 | 1,78 | 1,71 | 1,91 | 3,42 |
| Степень удовлетворения суточной потребности взрослого (70 кг), % | 172,5 | 189,3 | 101,1 | 84,8 | 162,9 | 182 | 195,4 |
| *Содержание триптофана методом кислотного гидролиза не определяется | | | | | | | |

Полученные данные свидетельствуют, что белковый концентрат из льняного жмыха характеризуется высокой биологической ценностью. Практически все НАК, кроме лизина) значительно превышают уровни суточных потребностей. Следует отметить, что льняной белок характеризуется особенно высоким содержанием ароматических АК, которые влияют, в частности, на состояние щитовидной железы и надпочечников.

Данное направление переработки вторичного сырья является целесообразным и перспективным для создания белковых ингредиентов с целью повышения пищевой и биологической ценности продукции хлебопекарной промышленности.

6.2 Разработка технологии получения полисахаридных продуктов из семян льна

Для пищевой промышленности водорастворимые полисахариды растительных слизей представляют интерес в качестве технологических пищевых добавок типа гидроколлоидов. Их также рассматривают в качестве растворимых пищевых волокон (ПВ), которые являются незаменимым пищевым ингредиентом с доказанным физиологическим действием. ПВ применяют, в частности для снижения калорийности и гликемического индекса продуктов. Потребность в подобных пищевых добавках для производства продуктов здорового питания растет с каждым годом.

Целью настоящей части раздела было определение рациональных параметров и последовательности технологических стадий получения полисахаридных продуктов из семян льна для их промышленного масштабирования.

Полисахариды льняной слизи хорошо растворимы в воде и слабых растворах солей. В воде они разбухают, превращаясь в стекловидную прозрачную массу. При

этом вес льняного семени увеличивается примерно в 2,5 раза, вследствие чего возникают определенные трудности при проведении ряда технологических операций (экстракция, фильтрование).

Генотип льна существенно влияет на моносакхаридный состав полисахаридов слизи и соотношение их высокомолекулярных фракций: пектинов и пентозанов. Сорты семян льна отечественной селекции особенно коричневых цветов характеризуются преобладанием пектинов (pect), цепи которых состоят в основном из рамнозы (Rha) и галактуроновой кислоты (GalA), (pect= Rha+ GalA). Пентозаны в льняных слизях представлены арабиноксиланом, основными составляющими которого являются арабиноза (Ara) и ксилоза (Xyl) (AX=Ara + Xyl).

Проведенные исследования с использованием 30 сортов семян льна выявили, что выход полисахаридного комплекса относительно сырья зависел не только от технологических параметров процесса, но и от особенностей изучаемого сорта льна. Было установлено, что на выход ПС комплекса оказывает влияние сочетание таких факторов, как суммарное количество полисахаридов слизи и содержание в них высокомолекулярных фракций. Максимальный выход ПС комплекса был выявлен у сорта льна-долгунца Алексим – 7,25%. При этом содержание полисахаридов в нем составило 2,70%, а содержание высокомолекулярных фракций - максимальное из всех исследуемых сортов – 68,00%.

Водная экстракция из целых семян льна позволяет выделять в раствор нативные полисахариды с исходной молекулярной массой. Вследствие того, что семена льна содержат значительное количество водорастворимых протеинов, которые могут экстрагироваться из семян вместе с полисахаридами, сырье перед экстракцией не измельчали.

Для разработки технологии получения полисахаридных продуктов из семян льна были установлены такие параметры процесса, как гидромодуль (16,7), продолжительность экстракции (1 ч), температура (40°C). Последовательность технологических операций представлена на схеме рисунка 15.

Анализ технологических параметров экстракции полисахаридов слизи из семян льна показал, что процесс следует проводить при температурах не выше 50°C в течение не более 2 часов. Соотношение сырья и растворителя (гидромодуль) может варьироваться от 13 до 20.



Рисунок 15 - Технологическая схема получения полисахаридного экстракта из семян льна

При этом выбор гидромодуля должен проводиться исходя из таких характеристик семян льна, как суммарное количество полисахаридов слизей и содержания в них высокомолекулярных фракций. Сравнительный анализ характеристик семян льна исследуемых сортов и эффективности экстракции из них полисахаридных продуктов позволил предположить, что выход целевого продукта составляет выше 5% при содержании суммы полисахаридов не менее 3,0% и высокомолекулярных фракций в них не менее 40%. Полученные результаты могут служить основой для промышленного масштабирования процесса.

Наработка полисахаридного экстракта из семян льна (10 кг) была проведена в условиях экспериментального цеха ВНИИМС. Выход целевого продукта составил 5,2%. Полученный сухой полисахаридный экстракт имел характеристики, указанные в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристика сухого полисахаридного экстракта из семян льна

| Показатель | Сухой полисахаридный экстракт | Сухой полисахаридный экстракт | |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | | Внешний вид | Мелкодисперсный порошок |
| Содержание полисахаридов, % | 89,00±4,45 | Цвет | Светло-бежевый |
| Содержание влаги, % | 3,00±0,15 | Запах | Без запаха |
| Содержание белка, % | 5,00±0,25 | Вкус | Без вкуса |
| Содержание жира, % | 1,80±0,09 | | |
| Зольность, % | 1,20±0,06 | | |

Содержание полисахаридов, относящихся к растворимым пищевым волокнам, составляет 89 г в 100 г полученного продукта, что позволяет отнести его к концентрированным полисахаридным продуктам. Уровень пищевых волокон в нем превышает рекомендуемое суточное потребление в соответствии с МР 2.3.1.0253-21 более, чем в 3,5 раза и продукт может служить добавкой для повышения этого вида эссенциальных нутриентов в рационах населения. Полисахаридный состав льняных слизей (пектины и пентозаны) является основанием для использования его в качестве агента, регулирующего вязкость пищевых систем.

6.3 Функционально-технологические свойства пищевых ингредиентов, полученных из семян льна и льняного жмыха

В настоящей части раздела определяли характеристики образцов белковых и полисахаридных продуктов, полученных в лабораторных условиях и экспериментальном цехе с использованием распылительной сушки. Были определены следующие характеристики: водоудерживающая (ВУС), жирудерживающая (ЖУС) и эмульгирующая (ЭС) способность, гелеобразующие свойства (ККГ – критическая концентрация гелеобразования).

Для сравнения использовали соевые белковые продукты, популярные в пищевых технологиях. В таблице 11 представлены функционально-технологические свойства льняных и соевых продуктов.

Таблица 11 – Функционально-технологические свойства белковых и полисахаридных продуктов, полученных из льняного сырья

| Продукт | Функционально-технологические свойства | | | | |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|--------|-------|---------------|
| | рН 5% р-р | ВУС, г/г прод. | ЖУС, % | ЭС, % | ККГ, % 4°C |
| Льняная мука полуобезжиренная | 6,7 | 6,0 | 60 | 99 | 10 |
| Льняная мука обезжиренная | 6,8 | 6,5 | 80 | 100 | 15 |
| Льняная белковая мука | 6,5 | 6,5 | 73 | 100 | - |
| Льняной концентрат | 6,1 | 4,5 | 80 | 74,3 | 12 |
| Сухой экстракт полисахаридов | 6,0 | 12 | 75 | 80 | - |
| Льняная белковая мука без полисахаридов слизи | 6,8 | 2,5 | 87 | 80 | 27 |
| *Соевая мука обезжиренная | 6,1 | 3,2 | 80 | 71 | - |
| *Концентрат соевого белка | 6,2 | 5,0 | 82 | 65 | 18 |

*Соевые продукты промышленного производства

Данные таблицы 11 свидетельствуют, что белковые и полисахаридные продукты из льняного сырья по своим функционально-технологическим свойствам не уступают соевым.

Функциональные свойства продуктов, полученных с использованием распылительной сушки в виде мелкодисперсных порошков, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристика продуктов, полученных с использованием распылительной сушки

| Показатель | Белковый концентрат | Полисахаридный экстракт |
|------------|---------------------|-------------------------|
| ВУС, г/г | 4,5 | 25,6 |
| ЖУС, г/г | 85 | 80 |
| ЭС, % | 75 | 80 |

По уровню показателей функциональных свойств (таблица 12) опытные образцы не уступали аналогичным показателям соевых белковых концентратов промышленного производства. Так, значения ВУС и ЖУС для разных марок соевых белковых концентратов китайского производства составляли 4,5-5,0 г/г, 75 г/г, соответственно.

Цветовые характеристики опытных образцов, определенные с помощью прибора «CR-410», характеризовались цветовой гаммой от светло-бежевого до бежевого цвета.

Были определены реологические характеристики полученных порошков: показатели кривых прессования и их насыпная плотность. Белковый концентрат и полисахаридный экстракт имели насыпную плотность (кг/м³) 225 и 251, соответственно.

Полученные данные свидетельствуют о предрасположенности полученных ингредиентов к образованию агломератов и формированию структуры в зависимости от параметров технологических процессов производства пищевых продуктов и могут быть использованы в качестве водо- и жиро- удерживающих агентов и эмульгаторов.

7 Создание ассортимента продуктов здорового питания с использованием продуктов переработки семян льна

Расширение области использования семян льна и продуктов их переработки необходимо для реализации их биохимического потенциала. Семена льна, как недорогое отечественное сырье, характеризующееся высокой биологической ценностью, должны занять свою нишу в пищевых технологиях по выработке продуктов здорового питания.

Целью раздела являлось определение перспектив использования льняных ингредиентов для создания продуктов здорового питания различных товарных групп.

7.1 Ингредиенты семян льна в пищевых системах

Льняная мука, помимо высоко количества белка, содержит все незаменимые аминокислоты (НАК). Как показали расчеты сумма НАК в льняной муке, содержащей 25% белка, превышает суточную потребность взрослого человека в общем количестве незаменимых аминокислот на 32,4%. В связи с этим льняную муку целесообразно использовать для обогащения незаменимыми аминокислотами традиционное хлебопекарное сырье, в частности пшеничную муку, степень удовлетворения суточной потребности в НАК которой составляет 30,7%.

С целью исследования влияния льняного белка на комплементарный состав НАК композитной пшенично-льняной муки проводили оценку сбалансированности его аминокислотного состава на основе сравнения расчетных данных с эталонными значениями незаменимых аминокислот. Было установлено, что сумма НАК композитной муки (90% пшеничной:10% льняной) увеличилась с 38,3 до 51,6 г/100 белка; коэффициент сбалансированности аминокислотного состава увеличился с 0,39 до 0,41, индекс незаменимых аминокислот ИНАК – с 1,31 до 1,80, что свидетельствует о повышении биологической ценности пшеничного белка при дополнении его льняным. Показатель степень удовлетворения общего количества НАК в композитной пшенично-льняной муке составил 40,96%.

Влияние функциональных ингредиентов семян льна на характеристики хлебопекарного теста и качество хлебобулочных изделий

Результаты проведенных исследований позволили обосновать роль ингредиентов семян льна в многокомпонентной коллоидной дисперсионной системе, какой является хлебопекарное тесто:

- льняные белки, не имея проламиновой фракции снижают содержание клейковины в общем белковом матриксе; при замещении пшеничной муки 3, 6, 9% было выявлено снижение показателя этого параметра для измельченных семян льна в интервале 2,2-21,1%, полуобезжиренной льняной муки в интервале 4,7-57,7%, для полуобезжиренной микронизированной льняной муки от 5,0 до 55,2%, для обезжиренной льняной муки на 5,4-54,3%, для белкового концентрата при его введении 1, 5, 10, 15% содержание сырой клейковины снижалось на 4,1-30,6%; выше 9% клейковина становилась сильнокрошащейся и неформирующей в массу.

- ПНЖК в составе семян льна (льняной муки) способствуют укреплению клейковинного каркаса вследствие повышения упругих свойств (на 19-23%) за счет действия гидропероксидов - продуктов окисления непредельных жирных кислот (линоленовой, линолевой), которые могут выступать в качестве окислителей и способствовать образованию поперечных дисульфидных связей, повышающих стабильность структуры мучных изделий;

- эффективная вязкость теста увеличивалась при добавлении полуобезжиренной и обезжиренной льняной муки в количестве 6 и 9% на 22,3 и 264%, 30,7 и 193%, соответственно, что вероятно связано с дополнительным введением как белка в составе льняной муки, так и полисахаридов льняной слизи, обладающих высокой гидрофильностью; полисахариды льняной слизи в конкурентной борьбе за молекулы воды препятствуют более полному набуханию крахмальных зерен, что и проявляется в повышении вязкости теста.

Льняные компоненты положительно влияли на качество готовых изделий. Удельный объем формового хлеба увеличивался в разной степени при добавлении всех льняных продуктов. На рисунке 16 проиллюстрировано увеличение удельного объема ХБИ на фоне соотношения пищевых веществ в льняных продуктах.

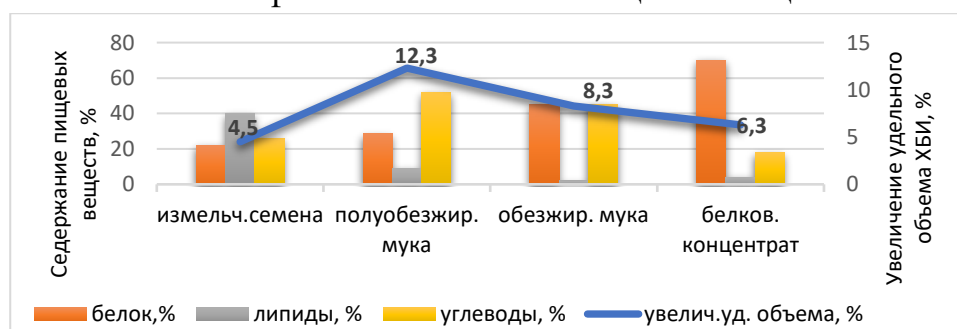


Рисунок 16 - Увеличение удельного объема ХБИ при добавлении льняных продуктов

Соотношение основных веществ в полуобезжиренной льняной муке (белки:жиры:углеводы=3,2:1:5,8) было наиболее оптимальным для эффективного увеличения удельного объема ХБИ.

С целью оценки возможности корректировки содержания эссенциальных пищевых ингредиентов в хлебобулочных изделиях и повышения их пищевой ценности, определяли влияние льняного компонента на их содержание в готовых изделиях. Проведенные расчеты с использованием программы Excel позволили установить, что содержание белка в образцах изделий при использовании полуобезжиренной, обезжиренной льняной муки и измельченных семян льна (от 3 до 9%) обеспечивает степень удовлетворения суточной потребности от 10,0 до 12,9%, а суммы НАК – от 22,68% до 30,22%. Содержание жира в изделиях с льняными компонентами (кроме семян льна 9%) не превышает 3 г на 100 г продукта, что позволяет их отнести к продуктам с низким содержанием жира (по ТР ТС 022/2011). Также в изделиях повышается уровень ПНЖК ω -3. При введении измельченных семян льна в интервале 3-9% содержание ПНЖК ω -3 превышает 0,4 г на 100 г продукта, что в соответствии с ТР ТС 022/2011 такие изделия маркируют как продукт «с высоким содержанием омега-3 жирных кислот». Изделия с полуобезжиренной

льняной мукой в том же интервале соответствуют маркировке «источник омега-3 жирных кислот», так как этот показатель превышает 0,2 г на 100 г продукта.

Помимо компонентного состава важное значение для потребителей имеют такие показатели как внешний вид и вкус хлебобулочных изделий. Органолептический анализ показал, что хлеб с добавками всех видов льняных продуктов имел достаточно развитую пористость, эластичный мякиш, хорошо выраженный хлебный вкус и аромат.

7.2 Разработка рецептуры и технологии мучных кондитерских изделий типа маффинов с использованием полисахаридов семян льна и льняной муки

Для изучения перспектив использования полисахаридов семян льна и льняной муки в технологии мучных кондитерских изделий (МКИ) в качестве модельного изделия использовали маффины. Они отличаются простотой изготовления и относительно небольшим набором ингредиентов, что позволяет объективно судить о влиянии новых компонентов на качество изделий.

7.2.1 Разработка МКИ с полисахаридами семян льна и льняной мукой

С целью создания МКИ использовали полисахариды семян льна, а именно сухой полисахаридный экстракт (ПС экстракт), полученный нами по разработанной технологии, льняную муку промышленного производства и семена льна масличного, измельченные в лабораторных условиях.

Исследования проводили в следующей последовательности: изучали влияние содержания полисахаридов семян льна в качестве структурообразователя на качество маффинов; определяли оптимальное количество льняной муки и измельченных семян льна при замещении части пшеничной для повышения пищевой ценности изделий и их органолептических свойств.

Влияние полисахаридов семян льна на качество маффинов.

Для исследования влияния полисахаридов семян льна на качество маффинов использовали дозировки сухого полисахаридного экстракта: 0,05-0,1-0,3-0,5-1,0% относительно содержания муки в рецептуре. Полисахариды добавляли после предварительного их растворения в воде, используя часть необходимого количества жидкости по рецептуре. В качестве выходных параметров определяли удельный объем, влажность и органолептические показатели изделий. Значимый наибольший удельный объем показали маффины с содержанием полисахаридов 0,1% (от содержания муки). Увеличение этого показателя составило 32,8% по сравнению с контролем. Наименьшее значение этого параметра соответствовало максимальному содержанию полисахаридов – 1,0%, при этом удельный объем снижался на 6,4% по сравнению с контролем.

Высокая водоудерживающая способность (ВУС) полисахаридов семян льна проявлялась в повышении влажности маффинов с этими добавками. С увеличением количества этой добавки в используемом интервале (0,05–1,0%) влажность повышалась на 2,4–7,6%.

Органолептические показатели маффинов с полисахаридами семян льна не ухудшались по сравнению с контролем, было отмечено увеличение пор мякиша, особенно при содержании 1,0%. Такое количество добавки влияло и на характер мякиша, он становился немного липким.

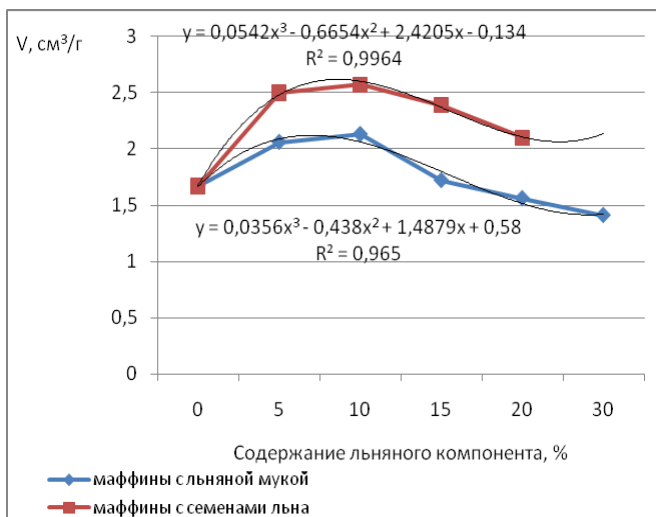
На основании проведенных исследований была составлена технологическая схема приготовления маффинов с полисахаридами семян льна.

Влияние семян льна и льняной муки на качество маффинов

Учитывая своеобразие компонентного состава семян льна: наличие слизей с высокой водоудерживающей способностью и высокой вязкостью, высокого содержания белка, не содержащего проламиновую фракцию, масла с преобладающим содержанием полиненасыщенных жирных кислот, отсутствие крахмала необходима корректировка технологии (технологических операций) получения маффинов. При введении льняной муки и измельченных семян льна из рецептуры исключали яичные ингредиенты.

Экспериментально был установлен способ введения льняной муки: ее предварительно гидратировали 6-кратным избытком воды в течение 10–15 минут. С целью предотвращения комкования измельченных семян льна их предварительно суспензировали с рецептурным количеством растительного масла.

Экспериментально было установлено оптимальное количество льняного продукта, вносимого при замене части пшеничной муки в рецептуру изделия, а именно 10% (рисунок 17).



Для комплексной оценки качества приготовленных образцов маффинов была разработана система дескрипторов. Маффины с содержанием льняной муки и семян льна в интервале 5–10% характеризовались высокими органолептическими свойствами.

Рисунок 17 – Влияние содержания льняной муки и семян льна на удельный объем маффинов

Разработанные изделия обладали сбалансированным составом, они содержали не менее 10% суточной потребности в ПНЖК класса ω -3, что свидетельствует об их высокой биологической ценности (таблица 13).

Таблица 13 – Характеристика маффинов с льняной мукой и с семенами льна

| Нутриенты | Суточная потребность, г. **МР 2.3.1.0253-21 | «Льняной маффин» | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | С льняной мукой (15%) | | С семенами льна (15%) | |
| | | г | %* | г | %* |
| Белок (растительный) | 60 | 5,88 | 10 | 5,95 | 10 |
| Жиры, в т.ч. ПНЖК ω -3 | 90 4 | 10,92 0,16 | 12 11 | 13,5 1,17 | 15 29 |
| Углеводы | 375 | 38,35 | 10 | 37,47 | 10 |
| Энергетическая ценность, ккал | 2300 | 275 | 12 | 295 | 13 |
| *степень удовлетворения суточной потребности, % | | | | | |
| **усредненные показатели для взрослого населения с разной степенью физической активности | | | | | |

Достигнутый уровень обогащения в соответствии с ТР ТС 022/2011 позволяет маркировать полученные изделия с семенами льна «с высоким содержанием ω -3 жирных кислот».

Таким образом, полученные данные на примере таких модельных изделий, как маффины, свидетельствуют о целесообразности использования полисахаридов семян льна, льняной муки и семян льна в измельченном виде в рецептуре МКИ для повышения их пищевой ценности и органолептических свойств.

7.2.2 Разработка безглютеновых маффинов с льняной мукой

Среди широкого ряда специализированных продуктов наиболее известны продукты питания, не содержащие глютена (фракции белка злаковых культур). Безглютеновая продукция в последние годы очень популярна и среди обычных людей, как атрибут здорового питания.

При определении возможности использования полисахаридов семян льна и льняной муки для создания безглютеновых продуктов учитывали необходимость увеличения содержания белка и приближение соотношения пищевых веществ к сбалансированному.

Работу проводили по следующим направлениям: был проанализирован ассортимент современного безглютенового сырья для мучных изделий, изучена возможность использования полисахаридов семян льна в качестве технологической добавки наряду с самым популярным структурообразователем – крахмалом, исследовали возможность использования льняной муки для повышения пищевой ценности безглютеновых изделий.

Сравнительная характеристика некоторых видов муки для безглютеновых пищевых продуктов.

Современный ассортимент безглютенового сырья достаточно широк. Чаще всего используются кукурузная и рисовая мука, а также кукурузный крахмал. Это, вероятно связано с тем, что именно их широко используют зарубежные производители, и такое сырье в больших объемах представлено на рынке. В качестве

биологически ценного сырья для повышения пищевой ценности безглютеновых изделий большим потенциалом обладает льняная мука.

Сравнительный анализ физико-химических характеристик кукурузной, рисовой и льняной муки, показал, что льняная мука обладает более высоким содержанием белка (в 3 раза выше). Содержание незаменимых аминокислот по проведенным расчетам составило в льняной муке - 60,11%, в кукурузной – 45,37%, в рисовой – 40,86% относительно общего количества белка в этих культурах. Сочетание муки злаковых и масличных культур позволит сбалансировать комплементарный состав белка безглютеновых изделий.

Влияние полисахаридов семян льна на качество безглютеновых маффинов

В настоящее время рецептуры безглютеновых МКИ основаны преимущественно на крахмалсодержащем сырье, что обуславливает их невысокую пищевую ценность и быстрое черствение. Опираясь на проведенный анализ, в качестве модели использовали рецептурный состав на основе кукурузной муки и кукурузного крахмала.

Было установлено, что сочетание полисахаридов с крахмалом не приводило к синергетическому воздействию на показатели качества изделий, как это и иллюстрирует графическая интерпретация экспериментальных данных на рисунках 18, 19.

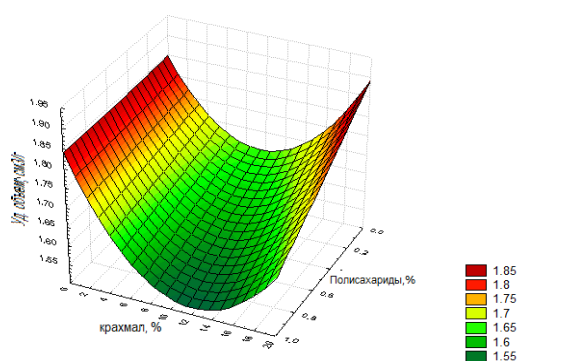


Рисунок 18 - Влияние соотношения полисахаридов семян льна и крахмала на удельный объем безглютеновых маффинов

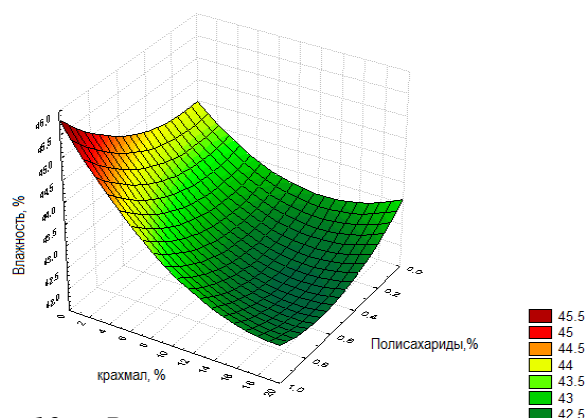


Рисунок 19 - Влияние соотношения полисахаридов семян льна и крахмала на влажность безглютеновых маффинов

Высокие значения удельного объема изделий были получены при содержании полисахаридов семян льна 0,1% без включения крахмала. В данном случае полисахариды семян льна играют роль структурообразователя.

Было установлено, что максимальная влажность безглютеновых маффинов соответствовала максимальному содержанию полисахаридов семян льна 1,0% при нулевом содержании крахмала (рисунок 19), что можно объяснить высокими значениями ВУС этого ингредиента.

Органолептические свойства безглютеновых маффинов были близки. Образцы отличались по состоянию мякиша: с увеличением содержания крахмала мякиш больше крошился. Цвет корки был ярче с увеличением содержания полисахаридов семян льна.

Таким образом, использование полисахаридов семян льна позволяет исключить из рецептуры кукурузный крахмал, без потери качества изделий.

Влияние льняной муки на качество и пищевую ценность безглютеновых маффинов

Для определения оптимального содержания льняной муки в рецептуре безглютеновых маффинов ее количество являлось варьируемым фактором. Критерием оптимизации служил удельный объем маффинов. Полисахариды семян льна вводили в качестве технологической добавки (структурообразователя) в количестве 0,1%. При этом технологические свойства льняной муки позволили исключить из рецептуры яичные продукты.

Льняную муку вводили в рецептуру маффинов при частичном замещении кукурузной муки от 5 до 20% с шагом 5%. Было установлено, что замена части кукурузной муки на льняную приводила к снижению удельного объема изделий, однако, при содержании льняной муки 15% этот показатель уменьшался незначительно – на 0,6%.

Оценка пищевой и энергетической ценности безглютеновых маффинов приведена в таблице 14.

Таблица 14 – Пищевая и энергетическая ценность безглютеновых маффинов.

| Ингредиент | Суточная потребность г. *МР 2.3.1.0253-21 | ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ МАФФИНОВ | | | |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------|
| | | г/100г продукта | Степень удовлетворения суточной потребности, % | г/100г продукта | Степень удовлетворения суточной потребности, % |
| | | с кукурузной мукой | | с кукурузной и льняной мукой 15% | |
| Белок (растительный) | 60 | 3,38 | 5,6 | 3,6 | 6,0 |
| Жир в т.ч. ω -3 | 90 4 | 10,47 0,1 | 11,6 2,5 | 8,2 0,12 | 9,1 3,0 |
| Углеводы | 375 | 41,87 | 11,2 | 37,3 | 10,3 |
| Энергетическая ценность, ккал | 2300 | 275 | 11 | 240 | 10 |

*усредненные показатели для взрослого населения с разной степенью физической активности

Безглютеновые маффины с кукурузной и льняной мукой характеризовались невысокой калорийностью, повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот класса ω -3. Исключение яичных продуктов при введении льняной муки не снижало биологической ценности изделий. При этом относительное увеличение содержания белка в готовом продукте составило 9,1% по сравнению с изделиями из кукурузной муки.

7.3 Расширение ассортимента продуктов с использованием льняной муки

Семена льна характеризуются высоким содержанием критически значимых для здоровья нутриентов: ПНЖК ω -3, белка, всех незаменимых аминокислот, пищевых волокон. Как показали проведенные исследования, введение семян льна и льняной муки в рецептуру мучных изделий позволяет повысить степень обеспечения суточной потребности в этих нутриентах, что свидетельствует о целесообразности их введения в другие группы продуктов.

Наряду с нутрициологическим потенциалом льняная мука проявляет высокие функционально-технологические свойства (ВУС, ЖУС, ЭС), о чем свидетельствуют данные таблицы 10. Синергизм таких ингредиентов, как белки и полисахариды слизи в льняной муке обеспечивают ей эмульгирующие свойства, необходимые для создания эмульсионных продуктов.

Создание эмульсионных продуктов с льняной мукой

Для разработки нового ассортимента эмульсионных продуктов использовали льняную муку, полученную после холодного отжима льняного масла. Основанием использования льняной муки для создания продуктов здорового питания является ее химический состав: высокое содержание белка (не менее 25%), пищевых волокон; необходимые функционально-технологические свойства: высокие показатели ВУС, ЖУС, ЭС. Было установлено, что льняная мука характеризовалась низким содержанием простых сахаров – не более $1,53 \pm 0,07\%$. Они составили практически 1/3 часть от общего количества сахаров ($5,50 \pm 0,27\%$). Это позволяет считать, что внесение льняной муки в рецептуру продукта будет способствовать снижению его гликемического индекса.

Эмульсионные продукты нашли широкое применение, как в качестве самостоятельных продуктов, так и в качестве дополнительных ингредиентов к кондитерским и хлебобулочным изделиям. Поэтому в качестве модели эмульсионного продукта использовали эмульсионные соусы.

С целью оптимизации жировой фазы эмульсионного продукта были рассчитаны липидные композиции с необходимым соотношением полиненасыщенных жирных кислот, позволяющие повысить биологическую ценность эмульсионных продуктов в соответствии с рекомендациями ФАО/ВОЗ. Композиция масел: оливковое 30% + льняное 10% + подсолнечное 60% обладает рекомендуемым соотношением ПНЖК $\omega-9: \omega-6: \omega-3 = 7:1,6:1$. Установлено, что такие композиции характеризуются высокой окислительной устойчивостью: перекисное число продуктов типа соусов с их использованием не изменялось в течение 100 суток их хранения.

В рецептуре эмульсионного соуса с льняной мукой не использовали яичных продуктов и пшеничной муки. Экспериментально установлено, что для получения соусов требуемого качества и консистенции необходимо вводить 3–6% льняной муки. В этом случае консистенция соуса однородная, стойкость - 100% неразрушенной эмульсии. Был разработан ассортимент эмульсионных соусов с льняной мукой. Оценка пищевой и энергетической ценности, а также физико-химических показателей разработанных продуктов представлена в таблице 13. По представленным данным можно сделать вывод, что эмульсионные соусы с льняной мукой характеризуются невысокой калорийностью (содержание жира 26–32%).

Основным показателем сохраняемости эмульсионных соусов, регламентируемым нормативной документацией, является стойкость к

расслаиванию. Этот показатель для разработанных продуктов имеет высокие значения (таблица 15).

Таблица 15 – Пищевая, энергетическая ценность и физико-химические показатели эмульсионных соусов с льняной мукой

| Наименование показателя | Контроль | Соусы с льняной мукой | | | | | |
|----------------------------------------------|----------|-----------------------|----------|--------|------------------|----------------------|---------------------|
| | | Льняной | Ореховый | Острый | Овощной с хреном | Овощной «свекольный» | Овощной «морковный» |
| Массовая доля, % | | | | | | | |
| - влаги | 18,03 | 57,70 | 48,4 | 46,90 | 38,95 | 30,95 | 32,90 |
| - липидов | 78,20 | 26,21 | 32,4 | 26,40 | 26,41 | 26,2 | 25,40 |
| - белка | 1,77 | 4,03 | 5,11 | 4,46 | 4,46 | 4,21 | 4,03 |
| - углеводов, в т.ч. | 2,00 | 3,55 | 5,03 | 5,68 | 8,80 | 8,40 | 8,20 |
| пищевых волокон | отсут | 2,70 | 3,82 | 4,32 | 6,80 | 6,43 | 6,21 |
| Энергетическая ценность, ккал | 719 | 266 | 332 | 278 | 290 | 286 | 278 |
| Стойкость эмульсии, % неразрушенной эмульсии | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| pH | 4,2 | 5,0 | 4,7 | 4,2 | 4,7 | 4,2 | 4,4 |
| Кислотность, в пересчете на уксусную к-ту, % | 0,47 | 0,43 | 0,42 | 0,45 | 0,45 | 0,43 | 0,42 |

Было рассчитано, что за счет использования разработанных липидных композиций с рекомендуемым соотношением ПНЖК, льняной муки и других добавок степень удовлетворения суточной потребности разработанных эмульсионных продуктов составляла: для МНЖК ω -9 – 31-34%, ПНЖК ω -6 – 21-59%, ПНЖК ω -3 – 140-142%. Этот же показатель для пищевых волокон составил 12-17%. Полученные данные свидетельствуют, что разработанные эмульсионные соусы с льняной мукой можно отнести к продуктам здорового питания.

Для сенсорной оценки разработанных соусов с использованием льняной муки была разработана система дескрипторов. На основании количественных оценок дескрипторов для разработанных эмульсионных продуктов были определены профилограммы качества. Комплексные показатели разработанных эмульсионных соусов превышали 80%, что является хорошим показателем уровня качества нового эмульсионного продукта.

На основании проведенных исследований была разработана технологическая схема, режимы получения эмульсионных соусов с льняной мукой.

Эмульсионные продукты с льняной мукой характеризуются оптимальным жирнокислотным составом, не содержат яйцепродуктов, обладают высокой стойкостью эмульсии и низкой энергетической ценностью. Они могут быть использованы в качестве самостоятельного продукта, а также как дополнительный ингредиент для выпечных мучных изделий. Получение и рецептура разработанного эмульсионного продукта защищены патентом РФ № 2524076. Разработаны ТУ и ТИ.

Использование льняной муки в составе кондитерских паст

Кондитерская продукция не относится к основным продуктам питания, однако присутствует в рационе практически каждого человека. Эта отрасль считается

высокорентабельной и одним из актуальных направлений её развития является разработка продуктов здорового питания, обогащенных незаменимыми нутриентами. Объектами обогащения и модификации с целью повышения пищевой ценности, снижения калорийности могут служить кондитерские пасты, которые в настоящее время получили широкое распространение.

Цель настоящего раздела – определение возможности использования семян льна и льняной муки для разработки новых кондитерских паст и оценка их пищевой ценности. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: определение характеристик вводимых добавок; разработка рецептуры и технологии кондитерских паст с льняной мукой и семенами льна; расчет пищевой ценности разработанных продуктов.

В качестве основных компонентов кондитерских паст были использованы семена льна и льняная мука, а в качестве дополнительных ингредиентов - семена тыквы, ядра грецкого ореха и арахиса.

С целью повышения органолептических свойств новых продуктов использовали микронизированные семена льна и льняную муку, так как в микронизированных семенах льна, как было показано выше, (рисунок 12) усиливается интенсивность сладкого и ярко-выраженного орехового привкусов.

Для обогащения вкусовой гаммы кондитерской пасты была проведена серия экспериментов по подбору вкусо-ароматических добавок. Наилучшую органолептическую оценку получили рецептуры кондитерской пасты с добавлением какао и ванилина, какао и корицы, какао и молока. Пасты сохраняли пластичную консистенцию, приятный вкус и аромат. При введении какао порошка продукт приобретал насыщенный цвет и шоколадный аромат. В качестве жирового компонента использовали смесь масел - подсолнечного (80%) и льняного (20%), в котором расчетное соотношение ПНЖК составляет: $\omega-3 : \omega-6 : \omega-9 = 1 : 4,5 : 2,3$. Выбор масел связан с высоким содержанием ПНЖК $\omega-3$ в льняном масле и доминированием α -токоферрола в подсолнечном, чья известная антиоксидантная активность будет способствовать повышению окислительной стабильности льняного масла.

С учетом особенностей технологических свойств льняных компонентов была разработана технологическая схема получения кондитерских льняных паст. Так, в технологическую схему введена стадия предварительной подготовки льняного сырья: смешивание и растирание его с водой позволяет получить однородную густую пастообразную массу пригодную для введения в рецептуру кондитерских паст. При отсутствии воды в рецептуре, продукт получается сухой, сыпучий, непластичный; консистенция неоднородная и не намазывающаяся.

По результатам дескрипторно-профильного дегустационного метода анализа был установлен оптимальный диапазон содержания выбранных компонентов в рецептуре (%): льняной продукт (семена, мука) : вода : масло подсолнечное : сахар :

какао-порошок – (8–10) : (37-42) : (11-12) : (23-26) : (7-8). Выход за рамки диапазона приводил к ухудшению консистенции и вкуса пасты.

Комплексные показатели разработанных кондитерских паст находились в пределах 70–80%, что является хорошим уровнем качества кондитерских паст с льняной мукой.

Содержание и степень удовлетворения суточной потребности в эссенциальных нутриентах в кондитерских пастах с льняной мукой и семенами льна, являющихся базовой основой для введения дополнительных ингредиентов представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Содержание эссенциальных нутриентов в кондитерских пастах с льняной мукой и семенами льна

| Наименование изделия | Белок | | ЭНАК | | ПНЖК | | ПНЖК ω-3 | | Пищевые волокна | |
|---------------------------------------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | г/100 г продукта | СУСП, % | г/100 г продукта | СУСП, % | г/100 г продукта | СУСП, % | г/100 г продукта | СУСП, % | г/100 г продукта | СУСП, % |
| Паста с льняной мукой и семенами льна | 5,21 | 9 | 2,40 | 20 | 8,57 | 36 | 2,37 | 59 | 5,14 | 26 |
| Паста с льняной мукой | 5,35 | 9 | 2,37 | 19 | 7,79 | 32 | 1,77 | 44 | 5,52 | 28 |

СУСП – степень удовлетворения суточной потребности для взрослого человека

Результаты, приведенные в таблице 14, свидетельствуют, что пасты с льняной мукой и семенами льна содержат эссенциальные нутриенты, которые являются дефицитными для этой группы кондитерских изделий. Это пищевые волокна, степень удовлетворения суточной потребности которых составляет более 25%; ПНЖК ω-3, степень удовлетворения в которых является высокой – от 44 до 59%, полный набор незаменимых аминокислот со степенью удовлетворения, превышающей 19%.

Таким образом, показана возможность использования семян льна и льняной муки для создания кондитерских паст с повышенным содержанием белка, оптимальным соотношением белков, жиров и углеводов с целью оптимизации питания населения России. А введение в рецептуру таких паст разнообразного орехового сырья (ядер миндаля, грецкого ореха) и создание на их основе новых видов кондитерских изделий в виде батончиков и плиток для перекуса массой 40-50г соответствует потребительским предпочтениям современной молодежи.

8 Разработка нормативной документации на пищевые ингредиенты и продукты

На основании проведенных исследований разработаны следующие проекты технической документации: ТУ 10.89.15-002-10784971-2021 «Продукт полисахаридный из льняного семени», ТИ по изготовлению и контролю «Продукта полисахаридного из льняного семени», ТУ 10.89.19-003-10784971-2021 «Концентрат белковый льняной», ТУ 9143-001-10784971-12 на эмульсионный продукт с льняной мукой и ТИ по его изготовлению и контролю, ТУ 9110-004-10784971-21 на батон «Пшенично-льняной» и ТИ по его изготовлению и контролю.

9 Социально-экономическая эффективность разработанных технологий и продуктов

Социальная значимость технологий глубокой переработки семян льна с целью получения пищевых ингредиентов, обладающих функциональными и технологическими свойствами, выражается в следующем:

- применении щадящих способов переработки семян льна, обеспечивающих стабильность и сохранность пищевой ценности, высокие органолептические свойства продуктов переработки;

- создании ассортимента продуктов массового потребления с использованием компонентов льняного семени, обеспечивающих существенный вклад в здоровое питание и профилактику хронических неинфекционных заболеваний;

- создании технологий получения из семян льна и льняного жмыха пищевых ингредиентов, востребованных пищевой промышленностью.

Разработка и в перспективе внедрение технологий глубокой переработки семян льна и производства продуктов здорового питания с их использованием повышает физическую и экономическую доступность для населения продуктов, играющих роль в профилактике наиболее распространенных алиментарно-зависимых заболеваний: ожирения, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, сахарного диабета 2 типа, является социально значимым направлением в решении задач, поставленных в «Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации».

Увеличение пищевого использования продукции, полученной из семян масличного льна, будет стимулировать повышение спроса на это сырье и, как следствие - увеличение объемов их переработки для внутреннего рынка. Разработанные технологии предусматривают получение продуктов с добавленной стоимостью и, тем самым, будут способствовать увеличению эффективности производства этой культуры.

В настоящем разделе была определена ориентировочная себестоимость разработанных ингредиентов и продуктов. Расчет их себестоимости проводили укрупненно калькуляционным методом. На этой основе был осуществлен расчет ориентировочной оптовой цены разработанных пищевых ингредиентов из льняного сырья – белкового концентрата, полисахаридного экстракта, и продуктов с использованием льняной муки и семян льна. Данные представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Показатели разработанных продуктов

| Наименование показателя | Разработанный продукт | | | | | |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|------------|---------------|----------------------|--------------------|
| | Белковый концентрат | ПС экстракт | МКИ | | Эмульсионный продукт | Кондитерские пасты |
| | | | Традицион. | Безглютен. | | |
| Ориентировочная себестоимость, руб/кг | 630,38 | 589,76 | 41,13 | 41,55 | 55,43 | 58,91 – 101,57 |
| Изменение себестоимости в сравнении с базовым вариантом, % | Новый продукт | Новый продукт | + 3,5% | Новый продукт | +20% | Новый продукт |
| Ориентировочная оптовая цена, руб/кг | 693,42 | 648,76 | 45,24 | 45,71 | 60,97 | 64,80-111,73 |
| Предполагаемая прибыль, руб/кг | 63,04 | 59,00 | 4,11 | 4,16 | 5,54 | 5,00-10,00 |

Разработанные продукты обладают конкурентным преимуществом и как новые продукты (аналоги не вырабатываются из этого сырья), и как продукты с высокой пищевой ценностью, соответствующие требованиям здорового питания и позволяющие расширить ассортимент аналогичных изделий. Их внедрение в производство будет также способствовать повышению конкурентоспособности отечественных производителей.

ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ нормативной базы продуктов здорового питания; современных технологий растительных белков и полисахаридов; выявлен нутрициологический потенциал семян льна как пищевого сырья, обладающего высоким уровнем эссенциальных нутриентов (незаменимых аминокислот, ПНЖК ω -3, пищевых волокон), дефицитных в пищевых рационах населения России; рассмотрены перспективы глубокой переработки семян льна для создания продуктов здорового питания.

2. Научно обоснован выбор нетрадиционного сырья, а именно семян льна, для разработки технологий пищевых ингредиентов и продуктов здорового питания: проведен анализ состояния современного производства и востребованности семян масличного льна в России; теоретически и экспериментально на основании результатов определения синильной кислоты обосновано безопасное пищевое использование семян льна и льняной муки; определена степень удовлетворения потребностей в нутриентах при введении семян льна в рационы населения.

3. При изучении экстракции полисахаридов и белка из семян льна и льняного жмыха выявлено влияние параметров процесса (рН, температура, продолжительность) на последовательный выход в раствор полисахаридных ассоциатов с различным содержанием белка - повышение температуры и снижение рН среды способствуют повышению (в 5–10 раз) содержания белковых веществ в конечном продукте. Компонентный состав конечных продуктов зависит от способа обработки исходных семян льна: из цельных получены полисахаридные комплексы с протеиновой составляющей 7–10%, из измельченных – белок-полисахарид-липидные комплексы (БПЛК) с содержанием белка 31-37%, из обезжиренных (жмыха) – белковые концентраты (60-77% белка). Вариабельность протеиновой составляющей влияет на функционально-технологические свойства получаемых продуктов: с увеличением белка повышаются значения показателя ЖУС и снижаются значения ВУС.

4. На основании исследования влияния высокотемпературной обработки под действием ИК-облучения на активность окислительных ферментов, белковый комплекс разработана технология микронизации семян льна для повышения их пищевой безопасности и улучшения органолептических свойств.

Показано, что сочетание ИК-облучения с предварительным увлажнением семян льна пропариванием позволяет снизить активность липазы до 0, а липоксигеназы – до 0,2 ммоль/кг; микронизация семян льна и льняной муки не снижает их биологическую

ценность, повышает органолептические свойства семян льна в виде усиления орехового и сладкого привкусов.

5. Разработаны технологии пищевых ингредиентов для создания продуктов здорового питания:

- технология получения концентрата белка из льняного жмыха, позволяющая получать продукт с содержанием белка не менее 65%. Определение показателей биологической ценности: содержания НАК, аминокислотного сора (64% lys), степени удовлетворения суточной потребности в индивидуальных НАК, превышающие 100% (кроме лизина) свидетельствует о высокой биологической ценности льняных белковых концентратов;

- технология получения полисахаридного продукта, с содержанием полисахаридов, относящихся к растворимым пищевым волокнам, не менее 89 г / 100 г продукта, что позволяет отнести его к концентрированным полисахаридным продуктам для повышения уровня пищевых волокон в рационах населения.

6. С учетом актуальности расширения ассортимента продуктов здорового питания экспериментально обоснованы и разработаны 25 вариантов рецептур продуктов, относящихся к различным группам: хлебобулочных, мучных кондитерских изделий, эмульсионных продуктов, кондитерских паст с использованием семян льна и продуктов их переработки. Показано повышение их пищевой ценности по содержанию эссенциальных ингредиентов – индивидуальных незаменимых аминокислот, ПНЖК, пищевых волокон. Рассчитана степень удовлетворения суточной потребности в этих ингредиентах в разработанных продуктах. Теоретически и экспериментально обосновано влияние функциональных ингредиентов семян льна на качество хлебопекарного теста, заключающееся в снижении содержания клейковины до 57% в зависимости от белковой составляющей льняного компонента; в повышении упругих свойств теста на 19–23% в результате воздействия продуктов окисления ПНЖК льняного компонента (пероксидов) на увеличение дисульфидных связей белкового матрикса, в синергетическом влиянии льняных белков и полисахаридов на увеличение эффективной вязкости теста до 264%. Установлена эффективность замены крахмала в рецептуре безглютеновых маффинов на полисахариды семян льна в качестве структурообразующей добавки в количестве 0,1%. Разработаны липидные композиции для использования во всех группах полученных продуктов, с соотношением ПНЖК, близким к рекомендуемым ФАО/ВОЗ.

7. Разработана техническая документация (ТУ, ТИ) на полисахаридный экстракт, белковый концентрат, ХБИ, МКИ и эмульсионные продукты с льняной мукой. Проведена опытно-промышленная апробация разработанных технологий пищевых ингредиентов (экспериментальный цех ВНИИМС, г. Углич).

8. Обоснована социально-экономическая значимость разработанных технологий и продуктов, заключающаяся в создании ассортимента продуктов

массового потребления с использованием компонентов льняного семени, обеспечивающих существенный вклад в здоровое питание и профилактику хронических неинфекционных заболеваний. На основе калькуляционного метода расчета ориентировочной оптовой цены показано, что разработанные продукты обладают конкурентным преимуществом и как новые продукты (аналоги не вырабатываются из этого сырья), и как продукты с высокой пищевой ценностью, соответствующие требованиям здорового питания, позволяющие расширить ассортимент аналогичных изделий и способствующие повышению эссенциальных макронутриентов в рационах населения.

Семена льна и продукты их переработки наряду с обогащением могут быть потенциальным регулятором консистенции пищевых систем. Исследование взаимодействий льняных белков, отдельных пептидов, их высокомолекулярных некрахмальных полисахаридов, полиненасыщенных жирных кислот с компонентами пищевых систем является основой для продолжения работ в этом направлении.

**Список наиболее значимых работ, опубликованных по материалам диссертации
Статьи, опубликованные в журналах, входящих в международные реферативные базы данных и
системы цитирования**

1. **Миневич, И. Э.** Исследование влияния условий переработки семян льна на соотношение макронутриентов в целевых продуктах с использованием метода ИК-спектроскопии НПВО / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, А.П. Нечипоренко, Т.Б. Цыганова, Д.А. Громова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2019. - № 4. – С. 47–57. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.202>
2. **Minevich IE.** IR-spectroscopy of polysaccharide flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) products / IE Minevich, LL Osipova, AP Nechiporenko, MI Melnikova, TB.Tsyganova // Foods and Raw Materials. -2019.-№7(2). – P. 274–282. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-274-282>
3. Цыганова, Т. Б. Полисахариды семян льна: практическое применение/ Т.Б. Цыганова, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2019. №2. – С. 24-36. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.151>
4. **Миневич И.Э.** Влияние добавки измельченных семян льна и льняной муки на технологические и потребительские свойства мучных изделий / И.Э. Миневич, Т.Б. Цыганова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. - 2020. - №2-3 (374-375). С. 88-91. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.2-3.23>
5. **Миневич И.Э.** Характеристика порошков белкового концентрата и полисахаридного экстракта, полученных из льняного сырья методом распылительной сушки/ И.Э. Миневич, Т.Б. Цыганова, В.Я. Черных // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. - № 3. С.46-57. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.334>
6. **Миневич И.Э.** Влияние ИК-облучения на биологическую ценность семян льна / И.Э. Миневич, И.В. Ущачповский // Аграрная наука. – 2020. - №11-12. – С.144-146.
7. Нечипоренко А.П., Инфракрасная Фурье-спектроскопия в сравнительном исследовании животных и растительных белков / А.П. Нечипоренко, **И.Э. Миневич**, С.М. Орехова, В.Е. Ситникова, Д.А. Громова, М.В. Успенская // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. - №10(4). – С.678-690. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-678-690>

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

8. Черников В.Г. Лен – национальная стратегическая культура / В.Г. Черников, А.Н. Стеблинин, **И.Э. Миневич** // Достижения науки и техники АПК. 2003.- №4.- С.2-3.
9. Стеблинин А. Использование семян льна в мучных изделиях/ А. Стеблинин, **И. Миневич** // Хлебопродукты. – 2003. - №2.- С.21-22.
10. Стеблинин А.Н. Некондиционные семена льна-долгунца и перспективы их промышленного применения/ А.Н. Стеблинин, **И.Э. Миневич**, А.В. Исакова, А.Л.Григорьева// Достижения науки и техники АПК. - 2006.- №6.- С. 45-46.
11. **Миневич И.** Использование семян льна в хлебопечении /И. Миневич, В.Зубцов, Т. Цыганова. //Хлебопродукты.- 2008.- № 3- С. 38-40.

12. Зубцов В. *Linum usitatissimum* – самый полезный / В.Зубцов, **И. Миневич**, Т. Цыганова // Хлебопродукты.- 2009.- №6, С.64-65.
13. Зубцов В.А. Биологические и физико-химические основы использования льняной муки для разработки хлебобулочных изделий / В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**// Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. - № 3. – С. 10-13.
14. **Миневич И.Э.** Повышение качества семян льна/ И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов. // Механизация и электрофикация сельского хозяйства. – 2012. - №6.- С.29-31.
15. Зубцов В.А. Исследование экструзионных технологий с использованием семян льна / В.А. Зубцов, В.И. Поляков, Л.Л. Осипова, **И.Э. Миневич** // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. - №5. – С. 27-28.
16. Цыганова Т.Б. Перспективы использования семян льна и льняной муки / Т.Б. Цыганова, **И.Э. Миневич**, В.А. Зубцов, Л.Л. Осипова // Хлебопечение России. – 2014. - №4. – С.18-20.
17. Зубцов В.А. Дезинтеграция семян льна на фракции для производства функциональных продуктов/ В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, С.И. Кукушкин, Осипова Л.Л. // Техника и оборудование для села. -2016. -№ 2 (225).- С. 41-43.
18. **Миневич И.Э.** Перспективы глубокой переработки семян льна /И.Э. Миневич, Т.Б. Цыганова, В.А. Зубцов, Л.Л. Осипова // Хлебопечение России. – 2016. - №4.- С. 12-15.
19. Цыганова Т.Б. К вопросу о пищевой безопасности семян льна и продуктов их переработки /Т.Б. Цыганова, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов, Е.А. Смирнова // Хлебопечение России. – 2017.-№2.- С.23-26.
20. **Миневич И.Э.**, Гидроколлоиды семян льна: характеристика и перспективы использования в пищевых технологиях / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2017. № 3. С. 16–25.
<https://doi.org/10.17586/2310-1164-2017-10-3-16-25>
21. **Миневич И.Э.** Реологические свойства растворов полисахаридов семян льна / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов// Пищевая промышленность. – 2017.- №5. – С.38-40.
22. Цыганова Т.Б. Влияние гидроколлоидов семян льна на качество маффинов / Т.Б. Цыганова, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов // Хлебопечение России. – 2017. - №6. – С. 32-35.
23. **Миневич И.Э.** Разработка рецептур и оценка качества мучных кондитерских изделий «Льняной маффин» / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова // Хлебопродукты. – 2018.- №4.- С.56-58.
24. **Миневич И.Э.** Функционально-технологические свойства льняных белок-полисахаридных продуктов / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова // Хлебопродукты. 2018. - №6. – С.38 -39.
25. **Миневич И.Э.** Сравнительная характеристика некоторых видов муки для безглютеновых пищевых продуктов / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова // Хлебопродукты. – 2018. - № 8. – С. 42-44.
26. **Миневич И.Э.**, Особенности процесса экстракции полисахаридов слизи из семян льна /И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, А.П. Нечипоренко, Е.И. Смирнова, М.И. Мельникова // Научный журнал НИУ ИТМО серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2018. - № 2 (36). С. 3-11. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2018-11-2-3-11>
27. **Миневич И.Э.** Использование семян льна и льняной муки в технологии мучных кондитерских изделий/ И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, Т.Б. Цыганова //Хлебопечение России. – 2018. - №3. – С.38-41.
28. **Миневич И.Э.** Гидроколлоиды семян льна в технологии безглютеновых маффинов / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, Т.Б. Цыганова // Хлебопродукты. – 2019. - №1. – С.56-58.
29. **Миневич И.Э.** Влияние условий экстракции на функциональные свойства полисахаридов из семян льна / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова // Хлебопродукты. – 2019. - №4. – С.48-51. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-4-48-50>
30. **Миневич И.Э.** Технология получения белковых концентратов из льняного жмыха для использования в промышленном производстве/ И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, И.В. Ущатовский, Д.В. Абрамов, В.Н. Краюшкина // Хлебопродукты. – 2019. № 8. С. 34-37. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-30-8-34-37>
31. Нечипоренко А.П. Пептид-полисахаридные комплексы слизи ламинарии, корня алтея, семян льна / А.П. Нечипоренко, **И.Э. Миневич**, У.Ю. Нечипоренко, В.Е. Ситникова, Д.А. Громова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2020. - № 1. – С. 3-17. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-1-3-17>
32. **Миневич И.Э.** Сортовые и технологические особенности получения полисахаридных продуктов из семян льна (*Linum usitatissimum* L.) / И.Э. Миневич, И.В. Ущатовский, Л.Л. Осипова, Д.В. Абрамов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. -2020. - №2 (44). - С. 3-10. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-3-10>
33. **Миневич И.Э.** Оценка эмульгирующих свойств гидроколлоидов семян льна / И.Э. Миневич // Хлебопродукты. – 2020. - № 11. - С.38-41.

34. Стеблинин А.Н. Свойства льняного жмыха и возможности его переработки/ А.Н. Стеблинин, **И.Э. Миневич**, А. В. Исакова, А. Л. Григорьева// Материалы межд. науч.-практич. конф. «Итенсификация машинных технологий производства и переработки льнопродукции», Тверь, 15-16 июля 2004г. Часть 2.- М.: «Издательство ВИМ», 2004. – 144с., С.39-46.
35. Стеблинин А.Н. Пути повышения эффективности использования продукции растениеводства/ А.Н. Стеблинин, **И.Э. Миневич**, А. В. Исакова, А. Л. Григорьева // Материалы XIII Межд. науч.- практич. конф. «Новые технологии и техника для ресурсосбережения и повышения производительности труда в сельскохозяйственном производстве», Тамбов, Москва- 2005.- Т2.- С.307.
36. **Миневич И.Э.** Получение белковых продуктов из семян льна / И.Э. Миневич, А.Л. Григорьева // Материалы X Междунар. науч.-практич. конференции «Высокоэффективные разработки и инновационные проекты в льняном комплексе России»- Вологда, март 2007г.- С.182-184.
37. Зубцов В.А. Белковые продукты из семян льна и их функциональные свойства / В.А. Зубцов, Л.Л. Осипова, **И.Э. Миневич** // Сб. материалов Межд.науч.-практич.конф. «Современные технологии агропромышленного производства», 2-4 июня 2009г, Тверь.- Агросфера, ТГСХА.- 2009.- ч.1.- С.123-126.
38. Цыганова Т.Б. Разработка технологии козинак с физиологическими функциональными ингредиентами / Т.Б. Цыганова, **И.Э. Миневич**, Г.В. Поснова // Материалы 3 Междун. конф. «Индустрия пищевых ингредиентов XXI века».- Международная Промышленная Академия, 25-27 мая 2009г. – М.: Пищепромиздат.- 2009. – С.165-169.
39. Зубцов В.А. Льняная мука – новый компонент для функциональных продуктов питания / В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова, В.Ю. Молофеев // Материалы Межд.науч.-практич. конф. «Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века», 17-19 сентября 2009г.-Краснодар. – 2009. – С.150-153.
40. Зубцов В.А. Использование льняного семени и льняной муки в производстве хлебобулочных изделий / В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова // Материалы Междунар. науч.-практич. конференции «Повышение конкурентоспособности льняного комплекса России в современных условиях», Вологда, 25 февраля 2009г. – Вологда. – 2009.- С.232-234.
41. **Миневич И.Э.** Получение пищевой муки с различным содержанием протеина из семян льна / И.Э. Миневич, В.А. Зубцов, Л.Л. Осипова // Материалы междунар. науч.-практич. конференции «Инновационные технологии как основа развития аграрного образования и АПК региона, ТГСХА, Тверь, 1-3 сентября 2010г. – Тверь: АгросфераА. – 2010. С. 209-211.
42. **Миневич И.Э.** Исследование процесса экстракции полисахаридов и белка из льняного жмыха / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов // Материалы науч.-практич. конференции «Основные результаты и направления развития научных исследований по льну-долгунцу», посвященной 80-летию образования ВНИИ – льна. – Тверь. – 2010. – С.406-410.
43. **Миневич И.Э.** Влияние ИК-обработки семян льна на кислотное число масла / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов // Инновационные процессы – основа модели стратегического развития АПК в XXI веке. Сб. научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 мая- 2 июня 2011 г. – г. Тверь: ТГСХА, 2011 г. – Часть 2. – С. 77-79. – 191 с.
44. Осипова Л.Л. Исследование функциональных свойств льняных белковых продуктов/ Л.Л. Осипова, **И.Э. Миневич**, В.А. Зубцов // Инновационные процессы – основа модели стратегического развития АПК в XXI веке. Сб. научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 мая-2 июня 2011 г. – г. Тверь: ТГСХА, 2011 г. – Часть 2. – С. 73-75. – 191 с.
45. Зубцов В.А. Получение белковых концентратов и изолятов из семян льна и их функциональные свойства/ В.А. Зубцов, Л. Л. Осипова, **И.Э. Миневич** // Материалы конф. «Внедрение инновационных разработок в целях повышения экономической эффективности в льняном комплексе России». – Вологда. – 2012.- С.293-295.
46. Осипова Л.Л. Влияние микронизации на физико-химические свойства и функциональные свойства белковых продуктов из семян льна / Л.Л. Осипова, **И.Э. Миневич**, В.А. Зубцов // Материалы конф. «Внедрение инновационных разработок в целях повышения экономической эффективности в льняном комплексе России». – Вологда. – 2012. – 318с., С. 296-298.
47. **Миневич И.Э.** Влияние влаготепловой обработки семян льна на активность окислительных ферментов / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов. //Материалы конф. «Внедрение инновационных разработок в целях повышения экономической эффективности в льняном комплексе России». – Вологда. – 2012. – 318с., С.299-303.
48. Зубцов В.А. Инновационные технологии в области переработки льносырья/ В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова, В.Ю. Молофеев// 33. Сб. науч. тр. «Инновационные технологии в области хранения и переработки продукции сельскохозяйственного производства». – Черноград. – 2012. – 160с., С. 98–102.
49. Зубцов В.А. Инновационная технология подготовки семян льна для пищевой промышленности / В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л. Л. Осипова // Сб. докладов XII Межд. науч.-технич. конф. «Модернизация

- сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем», 10–12 сентября 2012г. – Углич-Москва. -2012 – ч.1.- С. 648–654.
50. Зубцов В.А. Современные технологии получения и переработки семян льна в продукты питания массового потребления / В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л. Л. Осипова//Сб.науч.докл.XVII межд.науч.-практ.конф. «Повышение эффективности использования ресурсов при производ-стве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства», 24–25 сентября 2013г., г. Тамбов. – С.155-163.
 51. Зубцов В.А. Технология переработки семян льна для создания продуктов питания функционального назначения / В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова, С.И. Кукушкин // Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века: сб. науч. тр. – Краснодар, 2015. – С. 261-266.
 52. Войтук И.М. Социально – технологические основы создания функциональных продуктов питания на основе льна масличного/ И.М. Войтук, В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова// Техника и оборудование для села. 2015. - № 12. – 73 – 76.
 53. Осипова Л.Л., Новые рецептуры продуктов функционального назначения с использованием семян льна и льняной муки/Л.Л. Осипова, **И.Э. Миневич**, В.А. Зубцов // Социально-экономические и экологические аспекты развития регионов и муниципальных образований: проблемы и пути их решения: материалы межд. научно-практической конференции, 31 марта.2016г. РНИИИ и ТЭИ ЦТО АПК – Москва, 2016. – С.253-258.
 54. Зубцов В.А. Разработка и внедрение инновационных технологий для глубокой переработки се-мян масличных культур/ В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова// Материалы Межд. науч.-практ. конф. ФГБНУ ВНИИМЛ «Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур». – Тверь, 19-20 мая 2016.- С.285-290.
 55. **Миневич И.Э.** Исследование процесса экстракции полисахаридов из семян льна для использования в промышленном производстве/ И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов // Материалы Межд. науч.-практ. конф. ФГБНУ ВНИИМЛ «Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур». – Тверь, 19-20 мая 2016.- С.296-300.
 56. **Миневич И.Э.** Оценка кондитерских шоколадно-льняных паст профильным методом сенсорного анализа / И.Э. Миневич, Л. Л. Осипова, В.А. Зубцов // Материалы международной науч.-практич. конференции ФГБНУ ВНИИМЛ «Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур» – Тверь. – 2017. – С.365-368.
 57. Зубцов В.А. Семена льна и продукты их переработки как новый вид пищевых изделий повышенной биологической ценности/ В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л. Л. Осипова // Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века. Материалы V Междун. научно-практич. конференции, посвященной 100-летию со дня образования ФГБОУ ВО "Кубанский государственный технологический университет" (14-16 сентября 2017 г.).-Краснодар: Изд. ФГБОУ ВО "КубГТУ", 2017.-396с.-С.65-73.
 58. Зубцов В.А. Сравнительная характеристика конопляного и льняного пищевых масел/ В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л. Л. Осипова// Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века. Материалы V Междун. научно-практич. конференции, посвященной 100-летию со дня образования ФГБОУ ВО "Кубанский государственный технологический университет" (14-16 сентября 2017 г.).-Краснодар: Изд. ФГБОУ ВО "КубГТУ", 2017.-396с.-С.153-155.
 59. **Миневич И.Э.** Реологические свойства гидроколлоидов семян льна /И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов, Е.И. Смирнова // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур. Материалы Междунар. научно-практ. конф. ФГБНУ ВНИИМЛ, Тверь, 18 мая 2017г.- Тверь: Твер.гос.ун-т,; 2017.-379с., С.369.
 60. Везо О.С. Оптические методы в исследовании полисахаридов слизи семян льна отечественной селекции/ О.С. Везо, Л.В. Плотникова, А.П. Нечипоренко, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова, А.М. Поляничко // Сб. материалов IV Всероссийской конференции «Фундаментальная гликобиология», г. Киров, 23-28 сентября 2018 г. Ответственный редактор С.Г. Литвинец. – 2018.- С.200-202.
 61. **Миневич И.Э.** Об использовании льняной муки в рецептурах безглютеновых мучных изделий/ И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова // Пищевые технологии: исследования, инновации, маркетинг: Материалы I Национальной научно-практической конференции. Керчь, 1-3 октября 2018г. – Симферополь: Изд-во SoloRich. – 2018. – 184с. – С.61-62. [Электронный ресурс]: <http://www.kgmtu.ru/wp-content/uploads/2018/12/Pishhevytekhnologii2018KerchRED.pdf>
 62. **Миневич И.Э.** Фракционирование полисахаридов семян льна с использованием осадителей/ И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова // в сб. Инновационные подходы к развитию науки и производства регионов.- Сборник научных трудов по матер. Национальной науч.-практич.конф. - Тверь.: Издательство Тверской ТГСХА, 2019.- 474с, С.106-1092.

63. **Миневич И.Э.** Некоторые аспекты получения белковых концентратов из семян льна и льняного жмыха/ И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, Е.И. Смирнова // XI Межд. науч.-практич. интернет-конф. "Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК", 5-7 июня 2019г., Москва
64. **Миневич И. Э.** Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях / И.Э. Миневич // Health, Food & Biotechnology. – 2019. - № 1(2).- С.97-114. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224>
65. Цыганова Т.Б. Использование семян льна и продуктов их переработки для оптимизации питания населения России/ Т.Б. Цыганова, **И.Э. Миневич**// Материалы докладов XII Межд. конф. «Торты. Вафли. Печенье. Пряники – 2020» Производство – Рынок – Потребитель / Международная промышленная академия, 26-28 февраля 2020г. – М.:2020. – 164с. С.41-45.

Научные статьи, опубликованные в зарубежных сборниках

66. Ковалев М.М. Применение ИК-облучения для повышения качества семян льна / М.М. Ковалев, В.А. Зубцов, **И.Э. Миневич**, Л.Л. Осипова// Сб. «Сельскохозяйственные машины». –Луцк. - 2014. – вып. 29.
67. **Миневич И.Э.** Исследование процесса экстракции полисахаридов и белка из льняного жмыха /И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов // Сб. «Сельскохозяйственные машины». –Луцк. - 2014. – вып. 29.- С.76-80.
68. **Миневич И.Э.** Оценка соусов с льняной мукой профильным методом сенсорного анализа / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов// Сельскохозяйственные машины: сб. науч. тр. – Луцк, 2015 С. 76-80.

Монографии

69. Цыганова Т.Б., **Миневич И.Э.**, Зубцов В.А., Осипова Л.Л. Пищевая ценность семян льна и перспективные направления их переработки/ Монография/ МГУТУ. – Калуга: издательство Эйдос. – 2010. – 124с.

Патенты на изобретения

70. Пат. 2437552 Российская Федерация. Способ получения белка из жмыха семян льна/**Миневич И.Э.**, Осипова Л.Л., Зубцов В.А. Опубл. 27.12.2011, Бюл. № 36.
71. Пат. 2464799 Российская Федерация. Способ снижения ферментативной активности семян льна/ **Миневич И.Э.**, Осипова Л.Л., Зубцов В.А. Опубл. 27.10.2012, Бюл. № 30.
72. Пат. 2524076 Российская Федерация. Соус майонезного типа с льняной мукой «Будь здоров»/**Миневич И.Э.**, Осипова Л.Л., Зубцов В.А. Опубл. 27.07.2014, Бюл. № 21.
73. Пат. 2683636 Российская Федерация, МПК, А21D 13/80, А21D 2/36 Кекс / **Миневич И.Э.**, Осипова Л.Л., Зубцов В.А., Левкина Г.А.; № 2018107856. - заявл. 02.03.2018; опубл. 29.03.2019, Бюл. № 10.
74. Пат. № 2639770 Российская Федерация, МПК, С08В 37/18 Способ получения полисахаридного комплекса из семян льна / **Миневич И.Э.**, Зубцов В.А., Осипова Л.Л.; №2015139034. – заявл. 14.09.2015; опубл. 22.12.2017, Бюл. № 36.

Учебные издания

75. Зубцов В.А., Ростовцев Р.А., **Миневич И.Э.**, Осипова Л.Л. Лен – прядильная и масличная культура. Учебное пособие. - Тверь: Твер.гос.ун-т. – 2017. – 304с.
76. Зубцов В.А., **Миневич И.Э.**, Осипова Л.Л. Инновационные технологии по глубокой переработке семян масличных культур. В 2-х частях. Основные направления глубокой переработки семян масличных культур. Часть 1.- Тверь: Тверской. гос. ун-т, 2015. – 201с.
77. Зубцов В.А., **Миневич И.Э.**, Осипова Л.Л. Инновационные технологии по глубокой переработке семян масличных культур. В 2-х частях. Инновационные технологии переработки семян льна и создание функциональных продуктов питания массового потребления с их использованием. Часть 2. - Тверь: Твер.гос.ун-т, 2015. – 200с.

Список сокращений

| | | |
|-------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|
| ВТМ- | высокотемпературная микронизация | ИК-обработка - инфракрасная обработка |
| БПЛК- | белок-полисахарид-липидный комплекс | ВУС- водоудерживающая способность |
| ЖУС- | жироудерживающая способность | ЭС- эмульгирующая способность |
| ККГ- | критическая концентрация гелеобразования | НАК - незаменимые аминокислоты |
| ИНАК- | индекс незаменимых аминокислот | ПНЖК- полиненасыщенные жирные кислоты |
| ХБИ- | хлебобулочные изделия | МКИ- мучные кондитерские изделия |
| ФАО - | Продовольственная сельскохозяйственная организация | |
| ВОЗ- | Всемирная организация здравоохранения | |
| lys- | лизин | рест- пектин |
| Rha- | рамноза | GalA -галактуроновая кислота |
| Ara- | арабиноза | Xyl - ксилоза |
| AX- | арабиноксилан | |