

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР»**

На правах рукописи

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

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор
Цыганова Татьяна Борисовна

Тверь, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр

| | |
|--|----|
| Введение | 6 |
| Глава 1 Обзор литературы | 16 |
| 1.1 Продукты здорового питания: классификация и тенденции развития..... | 16 |
| 1.1.1 Нормативная база и классификация продуктов здорового питания..... | 18 |
| 1.1.2 Тенденции развития функциональных продуктов..... | 27 |
| 1.2 Тенденции развития технологий получения пищевых белков и полисахаридных продуктов из масличных культур | 33 |
| 1.2.1 Современные технологии получения пищевых белков | 33 |
| 1.2.2 Технологии получения полисахаридных продуктов | 39 |
| 1.3 Семена масличного льна – биологически активное сырье для пищевой промышленности | 46 |
| 1.3.1 Краткие сведения об истории, географии происхождения и возделывания льна | 46 |
| 1.3.2 Современные сорта и направления селекции масличного льна | 51 |
| 1.3.3 Биохимическая характеристика семян льна | 56 |
| 1.3.4 Фракционный состав, структура и функционально- технологические свойства протеинов и полисахаридов семян льна | 67 |
| 1.3.5 Практическое использование семян льна и продуктов их переработки | 77 |
| Экспериментальная часть | 84 |
| Глава 2 Объекты и методы исследований | 87 |
| 2.1 Объекты исследования | 87 |
| 2.2 Дополнительное сырье, применявшееся в работе | 88 |
| 2.3 Методы исследований | 89 |

| | |
|--|------------|
| 2.3.1 Стандартные методы исследований | 89 |
| 2.3.2 Специальные методы исследований | 90 |
| 2.3.3 Способы получения полисахаридных, белковых и пищевых продуктов | 103 |
| 2.3.4 Обработка экспериментальных данных | 106 |
| Результаты исследований и их анализ | 107 |
| Глава 3 Научное обоснование выбора семян льна для получения пищевых функциональных ингредиентов | 107 |
| 3.1 Анализ современного состояния производства и промышленной переработки семян масличного льна в России..... | 107 |
| 3.2 Обоснование безопасного пищевого использования семян льна..... | 116 |
| 3.3 Оценка эффективности введения семян льна в пищевые рационы..... | 122 |
| Глава 4 Изучение процесса экстракции из семян льна и льняного жмыха для получения пищевых ингредиентов | 129 |
| 4.1 Исследование процесса экстракции полисахаридов из семян льна | 130 |
| 4.2 Исследование влияния технологических параметров на содержание белка и протеин-полисахаридные взаимосвязи в продуктах экстракции..... | 141 |
| 4.3 Исследование влияния способа переработки семян льна на соотношение макронутриентов в целевых продуктах | 146 |
| 4.4 Изучение реологических свойств полисахаридных продуктов | 157 |
| 4.5 Изучение процесса осаждения полисахаридных комплексов из водных экстрактов | 164 |
| Глава 5 Разработка технологии микронизации семян льна для повышения их пищевой безопасности и органолептических свойств..... | 169 |
| 5.1 Изучение влияния ИК-обработки на содержание сырого жира и кислотного числа масла семян льна..... | 170 |
| 5.2 Исследование влияния гидротермической обработки на гидролитические и окислительные ферменты семян льна | 171 |

| | | |
|----------------|--|-----|
| 5.3 | Обоснование рациональных параметров | |
| | микронизации семян льна | 180 |
| 5.4 | Исследование влияния микронизации на биологическую ценность | |
| | и органолептические свойства семян льна и льняной муки..... | 182 |
| 5.5 | Рекомендации по безопасному использованию семян льна | |
| | и продуктов их переработки | 189 |
| Глава 6 | Разработка технологий пищевых ингредиентов для | |
| | продуктов здорового питания | 192 |
| 6.1 | Разработка технологии получения белкового концентрата | |
| | из льняного жмыха | 192 |
| 6.1.1 | Получение белкового концентрата при предварительном | |
| | удалении полисахаридов слизи из льняного жмыха | 193 |
| 6.1.2 | Разработка технологической схемы получения | |
| | белкового концентрата из льняного жмыха | 201 |
| 6.1.3 | Разработка процесса получения белкового концентрата | |
| | из льняного жмыха в пилотном масштабе | 203 |
| 6.2 | Разработка технологии получения полисахаридных | |
| | продуктов из семян льна | 207 |
| 6.2.1 | Сортовые особенности выделения полисахаридных | |
| | продуктов из семян льна | 207 |
| 6.2.2 | Разработка технологии получения полисахаридов из семян льна.... | 210 |
| 6.3 | Определение функционально-технологических свойств пищевых | |
| | ингредиентов, полученных из семян льна и льняного жмыха | 219 |
| Глава 7 | Создание ассортимента продуктов здорового питания | |
| | с использованием продуктов переработки семян льна..... | 234 |
| 7.1 | Ингредиенты семян льна в пищевых системах | 234 |
| 7.2 | Разработка рецептуры и технологии мучных кондитерских | |
| | изделий типа маффинов использованием полисахаридов семян льна | |
| | и льняной муки | 251 |

| | |
|---|-----|
| 7.2.1 Разработка МКИ с полисахаридами семян льна и льняной мукой..... | 252 |
| 7.2.2 Разработка безглютеновых маффинов с льняной мукой | 263 |
| 7.3 Расширение ассортимента продуктов с использованием льняной муки..... | 275 |
| Глава 8 Разработка технической документации на пищевые ингредиенты и продукты..... | 303 |
| Глава 9 Социально-экономическая эффективность разработанных технологий и продуктов | 303 |
| 9.1 Социальная значимость разработанных технологий и продуктов | 303 |
| 9.2 Ожидаемый экономический эффект при внедрении разработанных технологий и продуктов | 305 |
| Заключение | 311 |
| Список сокращений | 325 |
| Список литературы | 326 |
| Приложения | 361 |
| Приложение 1 – Патент на изобретение № 2464799 Способ снижения ферментативной активности семян льна | 362 |
| Приложение 2 – Патент на изобретение № 2437552 Способ получения белка из жмыха семян льна | 364 |
| Приложение 3 – Патент на изобретение № 2639770 Способ получения полисахаридного комплекса из семян льна | 366 |
| Приложение 4 – Патент на изобретение № 2683636 Кекс | 367 |
| Приложение 5 – Патент на изобретение № 2524076 Соус майонезного типа с льняной мукой «Будь здоров» | 369 |
| Приложение 6 – Акты опытных испытаний | 372 |
| Приложение 7 – Проекты технической документации | 375 |

Введение

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 более, чем 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, локализующихся 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.

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 «2» 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, вариабельности интенсивности, формы, положения максимумов полос в области 1700–1500 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.

4. В ИК спектрах продуктов водной экстракции цельных семян льна выявлено присутствие в белковой области (1700-1500 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 ω -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» и ТИ по его изготовлению и контролю.

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 рецептов 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 и 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); Зерноград (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 80 публикациях, в том числе 21 в рецензируемых изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов докторской диссертации, 7 – во входящих в международные реферативные базы RSCI и Scopus, 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».

Глава 1 Обзор литературы

Проведен анализ нормативной базы и классификации продуктов здорового питания. Рассмотрены 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. На основании анализа публикаций отечественных и зарубежных ученых 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 ингредиентов этого сырья в отечественную пищевую промышленность для коррекции пищевого статуса населения и профилактики алиментарно-зависимых заболеваний.

1.1 Продукты здорового питания: современная классификация и тенденции развития

Качество и сбалансированность питания населения

Структура питания и пищевой статус населения относятся к числу важнейших показателей социально-экономического развития страны. Нарушение структуры питания приводит к изменениям пищевого статуса, что способствует развитию неинфекционных заболеваний, составляющих более половины причин смерти населения страны. В настоящее время с помощью различных исследований: научных экспериментальных, клинических, эпидемиологических установлена

корреляционная связь между состоянием здоровья человека и обеспеченностью организма энергией и необходимыми пищевыми веществами. Доказано, что вклад питания в развитие болезней сердечно-сосудистой системы, диабета, остеопороза, ожирения, некоторых форм злокачественных новообразований составляет от 30 до 50% [111].

Качество продуктов, их химический состав, агрегатное состояние, физико-химические и сенсорные характеристики играют роль каналов поступления информации и инструментов воздействия на жизненные процессы человека. Регулирующее действие компонентов пищи реализуется на различных уровнях организма человека (таблица 1.1) и какое - либо изменение может сопровождаться нарушением нормального течения биохимических, поведенческих реакций, физиологических функций и, как следствие приводить к развитию заболеваний или к неэффективной терапии [212, 213].

Таблица 1.1 – Регулирующее действие компонентов пищи [214]

| Уровень | Действие компонентов пищи |
|--|---|
| Молекулярный | Репликация генов, синтез различных РНК, трансляция генетической информации |
| Клеточный | Синтез энергии и белка в митохондриях и рибосомах, транспорт и метаболизм субстратов, промежуточных и конечных продуктов на поверхности клеток и на мембранах |
| Внутриклеточный | Гиалоплазма, в которой расположены и функционируют ядро, органоиды и включения |
| Околоклеточное пространство | Межклеточный матрикс, в котором локализованы капилляры, нервные окончания, проходят многие транспортные межклеточные пути, осуществляются многие метаболические реакции и информационный межклеточный обмен |
| Уровни отдельных тканей, органов и организма в целом | |

Таким образом, между конкретными пищевыми субстанциями и молекулярно-генетическими и метаболитическими детерминантами, определяющими, в итоге, здоровье человека существует огромное количество разнообразных связей [41, 80, 202, 211].

Отличительной особенностью современного питания является преобладание рафинированных продуктов, лишенных ряда витаминов, пищевых волокон и других минорных пищевых компонентов. Нарушен состав и соотношение пищевых компонентов, обеспечивающих организм пластическими и регуляторными соединениями. Наиболее значимым по степени негативного влияния на здоровье считается дефицит микронутриентов (витаминов, микроэлементов, отдельных полиненасыщенных жирных кислот), вызывающий нарушение функционирования систем антиоксидантной защиты организма, развитие иммунодефицитных состояний и, как следствие, резкое снижение сопротивляемости организма воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды [80]. Именно с нарушением структуры питания связан дефицит витамина С у 70% населения страны, у 40% - дефицит α -каротина и витамина А, витаминов В-комплекса. Однако, кроме дефицита микронутриентов, установлен хронический дефицит белка в питании, особенно в детском и пожилом возрасте. [38, 57, 190].

Приоритетными задачами государства в области повышения здоровья нации является, прежде всего, сохранение и укрепление здоровья населения за счет профилактики заболеваний, обусловленных алиментарными факторами, а также формирование здорового образа жизни.

1.1.1 Нормативная база и классификация продуктов здорового питания

С целью сохранения и укрепления здоровья населения, профилактики заболеваний, обусловленных неполноценным и несбалансированным питанием государством разработана «Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030г.» [169]. В настоящее время создана нормативная база, предусматривающая обеспечение безопасности и качества пищевой продукции, создание условий для производства продуктов нового поколения, которая включает технические регламенты Таможенного союза (ТР ТС), национальные стандарты (ГОСТ Р), межгосударственные стандарты (ГОСТ), своды правил, санитарные и ветеринарные правила и нормы, которые

гармонизируются со стандартами Комиссии Кодекс Алиментариус, директивами ЕС, документами AFDA US и пр. [67].

Продукцию здорового питания принято классифицировать следующим образом: *продукты функциональные, специализированные, обогащенные, пищевые функциональные ингредиенты* [4, 20, 63, 66, 67, 68, 88]. При этом обогащенные продукты относят к категории функциональных [67].

Определение продукции здорового питания регулируется в документах Таможенного Союза и национальных ГОСТах:

- ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» Технический регламент Таможенного союза.
- ТР ТС 027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания».
- ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения».
- ГОСТ Р 54059-2010 «Продукты пищевые функциональные. Ингредиенты пищевые функциональные. Классификация и общие требования».
- ГОСТ Р 55577-2013 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности».
- ГОСТ Р 33999-2016 «Продукция пищевая специализированная. Продукция пищевая диетического лечебного и диетического профилактического питания. Термины и определения».
- ГОСТ Р 34006-2016 «Продукция пищевая специализированная. Продукция пищевая для питания спортсменов. Термины и определения».
- ГОСТ Р 56201-2014 «Продукты пищевые функциональные. Методы определения бифидогенных свойств».

В настоящее время пока не наблюдается четкого соответствия в перечне продуктов, относящихся к тем или иным категориям здорового питания в регламенте Таможенного союза и национальных стандартах. Так, в техническом

регламенте Таможенного союза ТР ТС 021/2011 не дано определение «функциональный продукт», терминологически закреплено только определение «продукты обогащенные».

В соответствии с национальным ГОСТ Р 52349-2005 функциональный продукт предназначен для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми группами здорового населения, обладающий научно обоснованными и подтвержденными свойствами, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, предотвращающий дефицит или восполняющий имеющийся в организме человека дефицит питательных веществ, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе функциональных пищевых ингредиентов.

Согласно ТР ТС 021/2011 обогащенные пищевые продукты – это продукты, в которые добавлены одно или более пищевых и (или) биологически активных веществ и (или) пробиотические микроорганизмы, не присутствующие в нем изначально либо присутствующие в недостаточном количестве или утраченные в процессе производства (изготовления); при этом гарантированное изготовителем содержание каждого пищевого или биологически активного вещества, использованного для обогащения, доведено до уровня, соответствующего критериям для пищевой продукции – источника пищевого вещества или другим отличительным признакам пищевого продукта, а максимальный уровень содержания пищевых и (или) биологически активных веществ в таких продуктах не должен превышать верхний безопасный уровень потребления таких веществ при поступлении всех возможных источников (при наличии таких уровней) [179]. Отличительным признаком такой продукции является гарантированное изготовителем содержание каждого вещества, которое используется для обогащения.

Основные пищевые продукты, которые рекомендуется обогащать – это продукты массового потребления, регулярно используемые в повседневном питании взрослого населения и детей старше 3 лет, а также продукты, подвергающиеся различным технологическим воздействиям, например

рафинированию, приводящим к существенным потерям витаминов и минеральных веществ. Перечень обогащаемых продуктов в соответствии с СанПиН 2.3.2.280410 представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Продукты массового потребления, рекомендуемые к обогащению

| Наименование обогащаемого продукта | Наименование обогатителя |
|---|--|
| Мука пшеничная высшего и первого сорта | Витамины: В ₁ , В ₂ , В ₆ , РР, В ₁₂ , С, фолиевая кислота, пантотеновая кислота, минеральные вещества: железо, кальций |
| Хлеб, хлебобулочные изделия | Витамины: β-каротин, В ₁ , В ₂ , В ₆ , РР, В ₁₂ , фолиевая кислота, минеральные вещества: йод, железо, кальций |
| Кондитерские изделия, концентраты плодово-ягодные с добавлением сахара или другими подслащиваемыми веществами | Витамины: С, А, Е, D, В ₁ , В ₂ , В ₆ , РР, В ₁₂ , β-каротин, фолиевая кислота, минеральные вещества: йод, железо, кальций, магний |
| Зерновые продукты: готовые завтраки, экструдированные изделия, макаронные и крупяные изделия быстрого приготовления | Витамины: С, А, Е, D, В ₁ , В ₂ , В ₆ , РР, В ₁₂ , β-каротин, фолиевая кислота, минеральные вещества: йод, железо, кальций |

Определение «специализированные продукты» отражено в ТР ТС 021/2011, 027/2012 и в национальных стандартах ГОСТ Р 55577-2013, 33999-2016. Для специализированных пищевых продуктов установлены требования к содержанию и (или) соотношению отдельных веществ и компонентов ... и (или) в состав которых включены не присутствующие изначально вещества или компоненты ... и изготовитель заявляет об их лечебных и (или) профилактических свойствах и которые предназначены для целей безопасного употребления этого продукта отдельными категориями людей. Специализированная пищевая продукция подразделяется на следующие виды:

- пищевая продукция диетического профилактического питания, в том числе детского питания;

- пищевая продукция диетического лечебного питания, в том числе детского питания;
- пищевая продукция для питания беременных и кормящих женщин;
- пищевая продукция для детского питания;
- пищевая продукция для питания спортсменов.

К отдельным видам специализированной продукции относятся:

- продукция с низким содержанием натрия;
- низколактозная/ безлактозная пищевая продукция;
- пищевая продукция с ограниченным содержанием отдельных аминокислот;
- пищевая продукция без глютена;
- пищевая продукция диабетического питания.

В современной нормативной базе продукции здорового питания большое значение придается маркировке, отличительным признакам и эффективности специализированных и функциональных продуктов. Так, приведенная в маркировке этих продуктов информация должна содержать, помимо общих сведений о пищевой ценности, информацию об отличительных признаках:

- для функциональных продуктов - о пищевых ингредиентах, которые используются в целях обеспечения ожидаемого позитивного воздействия на организм человека; должно быть указано содержание витаминов и минеральных веществ в обогащаемых продуктах;

- для специализированных продуктов должна содержаться информация о заданном составе продукции или изменении содержания (и/или соотношения) отдельных веществ относительно их естественного содержания в этих пищевых продуктах и (или) включении не присутствующих изначально веществ или компонентов.

Отличительные признаки свидетельствуют о наличии свойств, позволяющих отличить ее от другой продукции в соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 и Изменение №1 к нему, введенное в действие с июля 2017 г., и распространяются на функциональную и специализированную продукцию. При этом наименование продукта, в отношении которого приводится «информация об отличительных

признаках и эффективности» должно сопровождаться надписью «Функциональный пищевой продукт» или «Специализированный пищевой продукт». Перечень разрешенных к использованию видов «Информации об отличительных признаках и эффективности» в отношении содержащихся в специализированных и функциональных пищевых продуктах функциональных пищевых ингредиентов, обоснованных методами доказательной медицины, приведен в приложениях А и Б к ГОСТ Р 55577-2013.

Эффективность считается доказанной, если удовлетворительным образом показано положительное действие на одну или более функций организма сверх обычного действия пищевого продукта, которое приводит к улучшению состояния здоровья и благополучия и (или) снижению риска развития заболеваний.

Определение физиологически функционального пищевого ингредиента (ФПИ) и их классификация приведены в ГОСТ Р 52349-2005 и 54059-2010, а также в Методических рекомендациях МР 2.3.1.0253-21 [90]. Функциональные пищевые ингредиенты – это биологически активные и/или физиологически ценные, безопасные для здоровья, имеющие известные физико-химические характеристики ингредиенты, для которых выявлены и научно обоснованы свойства, полезные для сохранения и улучшения здоровья и установлены нормы ежедневного потребления в составе пищевых продуктов. К ФПИ относят: пищевые волокна, витамины, минеральные вещества, полиненасыщенные жирные кислоты, пробиотики, пребиотики, синбиотики.

Стандартная классификация ФПИ, представленная в ГОСТ 54059-2010 (таблица 1.3), основана на функциональном воздействии на организм человека. ФПИ подразделяют на классы, группы, подгруппы, вид (наименование). В иерархической системе предусмотрены 7 классов, каждый из которых обуславливает определенный эффект поддержания органов и (или) систем человека.

В таблице 1.3 приведены функциональные пищевые ингредиенты, эффективность которых подтверждена опубликованными экспериментальными данными. Эффективность функционального ингредиента обусловлена при его

систематическом употреблении в составе пищевых продуктов в рамках пищевых рационов.

Таблица 1.3. – Классификация функциональных пищевых ингредиентов

| Функциональное назначение | Эффект | Наименование ФПИ |
|--|---|--|
| А Эффект метаболизма субстратов | Метаболизм питательных веществ | <i>Флавоноиды, среднецепочечные жирные кислоты Витамины группы В, микроэлементы (например хром) Пищевые волокна</i> |
| | Метаболизм углеводов | <i>Пищевые волокна, витамин С (аскорбиновая кислота), омега-3, полиненасыщенные жирные кислоты, микроэлементы (хром, цинк), витамины В₁, В₂, В₆</i> |
| | Устойчивость организма к онкологическим патологиям | <i>Фитоэстрогены, пищевые волокна, каротиноиды, витамин D, омега-3, полиненасыщенные жирные кислоты, пребиотики, микроэлементы (например цинк)</i> |
| Б Антиоксидантный эффект | Антиоксидантное действие | <i>Витамины С (аскорбиновая кислота) и Е, каротиноиды, флавоноиды (антоцианы), микроэлементы (например селен)</i> |
| | Синергетическое увеличение антиоксидантного действия | <i>Фосфолипиды</i> |
| В Эффект поддержания деятельности сердечно-сосудистой системы | Функции сердечно-сосудистой системы | <i>Витамины А, С (аскорбиновая кислота) и Е, микроэлементы (селен, цинк), омега-3 и омега-6, полиненасыщенные жирные кислоты, флавоноиды (в т.ч. антоцианы), токотриенолы, фолиевая кислота, витамины В₆, В₁₂, В₁₃ (оротовая кислота)</i> |
| | Липидный обмен | <i>Моно- и полиненасыщенные жирные кислоты, фитостерины, фитостанолы, пищевые волокна, токотриенолы, витамин РР, витамин Е, каротиноиды</i> |
| Г Эффект поддержания деятельности желудочно-кишечного тракта | Пищеварение и функциональное состояние желудочно-кишечного тракта | <i>Пребиотики Пробиотики Синбиотики</i> |
| | Моторно-эвакуаторная функция кишечника | <i>Пищевые волокна</i> |
| | Кишечная микрофлора | <i>Пребиотики Пробиотики Синбиотики</i> |
| Д Эффект поддержания зубной и костной ткани | Снижение риска развития кариеса | <i>Минеральные вещества (кальций, фтор), пищевые волокна</i> |
| | Снижение риска развития остеопороза | <i>Минеральные вещества (кальций, магний, фосфор), витамин D, фруктоолигосахариды, фитоэстрогены, витамины К и С, флавоноиды, микроэлементы (марганец, медь)</i> |
| Е Эффект поддержания иммунной системы | Иммуннокорректирующее действие | <i>Витамин С, пробиотики, омега-3, полиненасыщенные жирные кислоты, витамины А и Е, синбиотики, пребиотики</i> |
| | Нормализация функции иммунной системы при аллергических реакциях | <i>Пищевые волокна, пребиотики, макроэлементы (кальций)</i> |

В настоящее время предложены классификации ФПИ по источникам и методам получения, по химическому строению, области применения, технологическим свойствам [43, 79, 81, 164, 216]. Разнообразие систематизации функциональных пищевых ингредиентов позволяет сделать правильный выбор при разработке рецептур функциональных и специализированных продуктов.

Следует отметить, что нормативная база по продукции здорового питания, прежде всего, специализированной не ограничивается перечисленными выше Техническими регламентами и ГОСТами. Методические указания «Порядок проведения исследований эффективности специализированной диетической лечебной и диетической профилактической пищевой продукции» посвящены совершенствованию технического регулирования качества специализированной пищевой продукции [91]. Они обеспечивают объективность доказательной базы, подтверждающей эффективность специализированной диетической лечебной и диетической профилактической пищевой продукции.

«Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» наряду с ТР ТС 021/2011 определяют величины суточного потребления пищевых и биологически активных добавках к пище, которые используются для обоснования составов специализированной пищевой продукции [42].

Федеральный закон №323 – ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» (ст. 39) определяет понятие «специализированные продукты лечебного питания» - это пищевые продукты с установленным химическим составом, энергетической ценностью и физическими свойствами, доказанным лечебным эффектом, которые оказывают специфическое влияние на восстановление нарушенных или утраченных в результате заболевания функций организма, профилактику этих нарушений, а также на повышение адаптивных возможностей организма. В отличие от этого документа в ТР ТС 021/2011, 027/2012 шире представлены виды специализированного лечебного питания [179, 180].

Ряд документов, утвержденных министерством здравоохранения РФ, относится в основном, к обогащению витаминами и минеральными веществами пищевой продукции, предназначенной для питания отдельных групп населения в медицинских организациях:

- приказы Минздрава России: № 330 «О мерах по совершенствованию лечебного питания в лечебно-профилактических учреждениях Российской Федерации», № 395-н «Об утверждении норм лечебного питания»;

- МР «Рекомендуемые нормы лечебного питания (среднесуточных наборов основных пищевых продуктов) для беременных и кормящих женщин в родильных домах и детей различных возрастных групп в детских больницах (отделениях) Российской Федерации.

Принципы обогащения отдельных категорий пищевой продукции обозначены в Технических регламентах Таможенного Союза:

- ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»;
- ТР ТС 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей».

Существующая нормативная база, по мнению специалистов в области нутрициологии и диетологии требует уточнения и корректировки по ряду направлений, например [60, 67, 189]:

- разработка количественных критериев отнесения продукции к специализированной или функциональной;

- расширение перечня жизненно важных веществ за счет минорных биологически активных веществ, экзогенно регулирующих метаболизм, ответственных за экспрессию генов и ферментов, повышающих адаптационный потенциал организма;

- внедрение новых методов качественного и количественного определения биологически активных веществ, входящих в состав специализированных пищевых продуктов;

- совершенствование нормативной базы по определению качества пищевой продукции и принципов здорового питания;

- разработка мер по стимулированию производителей по увеличению пищевой продукции здорового питания, в том числе со сниженным содержанием жира, сахара, соли, специализированной, функциональной и обогащенной продукции.

1.1.2 Тенденции развития функциональных продуктов

Развитие концепции оптимального питания, определение понятия «здоровое питание» привело к тому, что пищевые продукты стали рассматривать как эффективное средство поддержания физического и психического здоровья, профилактики многих заболеваний. Эта концепция учитывает роль питания в иммунном статусе человека.

С середины 90-х годов прошлого века пищевые компании во многих странах стали выпускать в промышленных масштабах физиологически активные ингредиенты, которые использовали для производства традиционных пищевых продуктов с функциональными характеристиками (функциональные продукты питания ФПП по ГОСТ 52349-2005). В Японии в качестве функциональных ингредиентов для производства ФПП были предложены молочнокислые бактерии и бифидобактерии, олигосахариды, пищевые волокна, омега-3 жирные кислоты [212]. В настоящее время эта категория ингредиентов значительно расширилась (таблица 1.3).

Первым продуктом функционального назначения, целенаправленно разработанным для сохранения и восстановления здоровья человека, считается лактосодержащий кисломолочный продукт, появившийся в Японии в 1955 году [214].

К категории функциональных продуктов питания в соответствии с национальными нормативными документами и согласно «Научной концепции функционального питания в Европе» [384, 397, 430] относят:

- продукты питания, естественно содержащие требуемые количества функционального ингредиента (группы ингредиентов);

- натуральные продукты, дополнительно обогащенные каким-либо функциональным ингредиентом (группой ингредиентов);

- натуральные продукты, из которых удален компонент, препятствующий проявлению физиологической активности присутствующих в них функциональных ингредиентов;

- натуральные продукты, в которых исходные потенциальные функциональные ингредиенты модифицированы таким образом, что они начинают проявлять свою физиологическую активность, или эта активность начинает усиливаться;

- натуральные пищевые продукты, в которых в результате тех или иных модификаций увеличивается биоусвояемость входящих в них функциональных ингредиентов;

- натуральные или искусственные продукты, которые в результате применения комбинации технологических приемов приобретают способность сохранять и улучшать физическое и психическое здоровье человека и/или снижать риск возникновения заболеваний.

Продукты здорового питания, в том числе и функциональные, на российском рынке можно разделить на 2 группы [112]:

- 1) традиционные продукты питания (ХБИ, йогурты, кондитерские изделия и пр.), ассортимент которых расширяется за счет разработки новых изделий с функциональными свойствами;

- 2) новые продукты, которые разрабатываются специально под запросы целевой аудитории: протеиновые батончики для спортсменов, продукты для вегетарианцев, веганов, сыроедов и др.

Ежегодно появляется множество продуктов здорового направления, поэтому сложно оценить объем рынка здорового питания.

Специалисты Euromonitor International выделили основные тенденции этого рынка: дальнейшее увеличение употребления и производства продуктов категории «free from», то есть не содержащих определенных компонентов; сегмент натуральных функциональных продуктов продолжит свое интенсивное развитие.

Продукты категории «free from» (без глютена, без лактозы, без молока и т.п.) стали популярны не только среди людей по медицинским показаниям (непереносимость компонентов), но и среди потребителей, стремящихся к здоровому образу жизни. Это самый динамично растущий сегмент продуктов здорового питания (Health and Wellness). В качестве безглютеновых продуктов особую популярность приобретают изделия на основе древних злаков: различные виды хлеба, зерновые сухие завтраки (хлопья) и снеки [101].

Растет количество людей, предпочитающих растительные продукты с высоким содержанием белка, витаминов и минералов, но без искусственного обогащения этими компонентами. Чаще всего выбирают продукты на основе древних злаков, орехов, семян и бобовых, а также содержащие функциональные ингредиенты с определенными полезными свойствами. Добавление растительных ингредиентов в состав продукта является одним из направлений, которое будет укрепляться в ближайшее время [102].

В 2019 году специалисты отмечали рост интереса к функциональным продуктам для здорового старения. По данным ООН продолжительность жизни населения во всем мире увеличивается быстрыми темпами. По сообщениям ВОЗ самый высокий в мире средний возрастной уровень населения – в европейском регионе (таблица 1. 4) [102].

Таблица 1.4 – Средний возрастной уровень населения в разных странах

| Страна | Средняя продолжительность жизни, год |
|------------------|---|
| Япония | 84,2 |
| Швейцария | 83,3 |
| Испания | 83,1 |
| Австралия | 82,9 |
| Сингапур | 82,9 |
| Франция | 82,9 |
| Италия | 82,8 |
| Канада | 82,8 |
| Республика Корея | 82,7 |
| Норвегия | 82,5 |
| США | 78,5 |
| Россия | 73,6 |

Ожидается, что к 2050 году население свыше 60 лет и старше составит в общей сложности 2 млрд. человек, для сравнения в настоящее время эта категория населения составляет 841 млн. человек. Увеличение среднего возраста покупателя свидетельствует о значительном потенциале разработок функциональной продукции для потребителей преклонного возраста. При этом становится актуальной модель здорового старения. Люди могут с ранних лет заботиться о сохранении здоровья и для этого потреблять полезные для каждого возраста продукты.

Потребности пожилых людей в сохранении и улучшении здоровья могут быть в значительной степени удовлетворены за счет введения функциональных продуктов в пищевой рацион. Ингредиентами для профилактики заболеваний, связанных с процессом старения, являются витамины и минералы, ненасыщенные жирные кислоты, а именно омега-3, белки, антиоксиданты. Также для людей преклонного возраста необходим коллаген и его пептиды, которые поддерживают здоровье соединительных тканей, мышц, суставов. Например, в Японии богатые коллагеном изделия и блюда позиционируются как продукты против старения. Такая известная промышленная компания, как Omni Active Health Technologies специализируется на выпуске продуктов с каратиноидами, роль которых для здоровья глаз высока.

В настоящее время большое внимание уделяется пребиотикам как физиологически функциональному пищевому ингредиенту, который по определению, данному в ГОСТ Р 52349-2005, «в составе пищевых продуктов оказывает благоприятное воздействие на организм человека в результате избирательной стимуляции роста и/или повышения биологической активности нормальной микрофлоры кишечника». Среди широкого ряда пребиотиков чаще всего используются поли- и олигофруктаны, соевые олигосахариды, галактоолигосахариды, выделенные из природных источников, или получаемые биотехнологическими или синтетическими методами [197, 198]. Перечень веществ-пребиотиков широко варьирует, их классифицируют по природе и

структуре, происхождению и источникам, способу производства, области применения [243, 274, 281, 363, 385].

Пребиотики в качестве технологических пищевых добавок оказывают влияние на консистенцию пищевых продуктов благодаря их текстурным и желирующим свойствам. Их используют в мировой промышленности в качестве низкокалорийных подсластителей для замены сахара, стабилизирующих агентов, а также для увеличения сроков годности продуктов с технологической микрофлорой [156, 157, 244, 420].

Пребиотики как физиологически эссенциальные пищевые ингредиенты необходимы для создания функциональной пищи, предназначенной для профилактики многих заболеваний, связанных с питанием [256, 410].

Однако, следует отметить, что интенсивный рост российского рынка пребиотиков сдерживает отсутствие отечественного промышленного производства таких функциональных ингредиентов. Небольшой ассортимент пребиотиков: инулин, фруктоолигосахариды, лактулоза используется, в основном для производства кисломолочных продуктов [149].

Рынок функциональных продуктов в России представлен, в основном 4 категориями продуктов:

- продукты на основе зерновых (в том числе хлебобулочные изделия, кондитерские мучные изделия);
- молочные продукты;
- безалкогольные напитки;
- продукты масложировой отрасли.

Анализ литературных источников показал, что во всех продуктовых группах исследования и разработки новых продуктов проводятся по следующим основным направлениям [85, 188, 382]:

- снижение калорийности продукции;
- снижение содержания соли (например, в мясных продуктах путем замены хлористого натрия на хлорид калия, хлорид кальция, лактат кальция, хлорид магния;

- замена (полная или частичная) фосфатов, в частности на крахмал рисовый или кукурузный и фруктоолигосахариды.

Большое значение при разработке функциональных продуктов имеют выбор и определение оптимального содержания пищевого ингредиента и сырья, в составе которого он находится. Обоснованно установленное количество компонентов может способствовать высоким органолептическим свойствам разрабатываемого продукта в совокупности с его профилактическим действием.

На современном этапе рассматриваются вопросы о критериях эффективности введения функциональных ингредиентов и функциональных продуктов в пищевые рационы. Функциональное питание человека должно быть направлено на нормализацию его физиологических функций и поддержание должного гомеостаза. Авторы [202], опираясь на теорию функциональных систем П.К. Анохина, считают, что сохранение гомеостаза, как интегрального показателя нормы и здорового состояния должно быть основой критерия эффективности функциональных продуктов и рационов на их основе. Именно сохранение биологических констант в рамках их физиологических диапазонов является надежным критерием эффективности функционального питания. Цыгановой Т.Б. и Классиной С.Я. предложен системный подход к разработке функциональных изделий, который состоит из следующих этапов [199]:

1 этап – проведение научного обоснования создания функционального продукта, включающее научное обоснование конечной цели разработки (для кого разрабатывается продукт), выбор функционального ингредиента или обогащающих веществ (витаминов, макро- и микроэлементов), выявление позитивного физиологического воздействия на организм человека, определение покрытия потребности в применяемых ингредиентах на основе Методических рекомендаций 2.3.1.0253-21, а также биосовместимость и безопасность ингредиента.

2 этап – разработка технологии продукта, включающая определение влияния вносимых ингредиентов на свойства сырья, полуфабрикатов и показателей качества готовых изделий, а также выбор способа внесения, совместимость с составными компонентами рецептуры.

3 этап – контроль содержания функциональных ингредиентов в разработанных изделиях, их влияние на физиологическое состояние организма человека, методы компьютерного проектирования рецептурных композиций, определение основных показателей пищевой ценности разрабатываемых изделий.

4 этап – оценка экономической эффективности используемых ингредиентов.

Такой подход позволяет оценить эффективность тех или иных функциональных ингредиентов на поддержание должного уровня соответствующих биологических констант.

Таким образом, для дальнейшего развития отечественной индустрии функциональных изделий целесообразно продолжение исследований по изучению функциональных свойств и разработке новых способов получения функциональных продуктов, а также изучение терапевтического эффекта нутриентов и биологически активных веществ и условий их совместимости.

1.2 Тенденции развития технологий получения пищевых белков и полисахаридных продуктов из масличных культур

1.2.1 Современные технологии получения пищевых белков

Мировой рынок белка

Белки являются одним из главных и обязательных компонентов здоровой и полноценной пищи. Развитие технологий и использование различных видов белков (растительных, животных, грибных, микробных) для пищевых и кормовых целей находятся в центре внимания отечественной и мировой науки [33, 154, 155, 186]. Что касается мирового рынка белка, то на нем ключевую роль играют три основных типа белка: сывороточный, растительный и казеин. При этом соевый белок, составляющий 48,6% общего объема мирового рынка белка и ежегодный темп роста 6,3%, представляет отдельную позицию. Сывороточный белок занимает второе место и имеет 32,5% общего объема рынка с ежегодным темпом роста 4,3%. Казеин составляет 16,6% общего объема рынка с ежегодным темпом роста 4,3%.

Растительные белки без учета соевых составляют 2,2% объема рынка с темпом роста 5,2% [116].

Несмотря на крупномасштабное производство животного белка, растительные белки все больше замещают животные. Это связано в первую очередь с их дешевизной. Среди других факторов развития рынка растительного белка можно выделить следующие:

- Забота о здоровье. Растительные белки, практически все, в той или иной степени оказывают положительное действие на организм человека.

- Распространение вегетарианства;

- Экология, безопасность и благополучие животных;

- Функциональность.

Среди факторов, сдерживающих потребление растительных белков (большей частью соевых) можно выделить ГМО и аллергические реакции, а также антипитательные компоненты.

Российский рынок белковых концентратов показал положительную динамику в 2019г. Рост производства составил 32,3% по сравнению с уровнем 2018г. Анализ российского рынка белковых концентратов, проведенный компанией Tebiz group [154], показал, что среди регионов РФ крупными поставщиками белковых концентратов в 2019 году были Калужская область (30,95%), Санкт-Петербург (19,99%) и Новосибирская область (12,91%). Основными потребителями российских белковых концентратов в 2019 году были Украина (33,42%), Казахстан (21,9%), Вьетнам (10,11%), Беларусь (9,28%), Узбекистан (4,58%).

В настоящее время растет потребление белков в таких областях, как производство нутрицевтиков, готовых к употреблению продуктов питания, для спортивного питания, фитнеса, пищевых добавок.

Технологии пищевых белков

Растительное сырье. Для решения задачи обеспечения населения дешевым и качественным белком растущее значение приобретает рациональное

использование сырья растительного происхождения и создание на его основе широкого ассортимента пищевых продуктов.

Сложившаяся в настоящее время структура мирового хозяйства обеспечивает 50% потребляемых калорий и растительного белка за счет трех сельскохозяйственных культур – кукурузы, пшеницы и риса [148]. Однако значительное количество культур, традиционных для регионов, могут обеспечить более надежную продовольственную безопасность. Перспективными отечественными сельскохозяйственными культурами для использования в технологиях концентрирования белкового компонента являются зернобобовые и масличные культуры [3, 15, 33]. В связи с рисками глобального изменения климата необходимо развивать местные растительные источники белка. Существует однозначность мнений в необходимости достижения устойчивой системы обеспечения белком. При этом особое значение приобретает не только поиск альтернативных источников протеинов, но и максимально полное извлечение белка в процессе переработки пищевого сырья.

В качестве растительного сырья для получения белков рассматривают побочные продукты и отходы переработки сельскохозяйственных культур, это, в частности – мука, жмыхи, шроты масличных культур. Предпочтительное использование продуктов переработки масличных культур объясняется высокой эффективностью их использования, снижением воздействия на окружающую среду, возможностью удовлетворения традиционных пищевых предпочтений потребителей. Масличные культуры имеют и экономические преимущества по сравнению с зернобобовыми: их белок, как правило, является вторичным продуктом и его себестоимость значительно ниже, чем у зернобобовых, которые возделывают только ради получения белка [76]. В связи с этим мировое производство масличных культур (подсолнечника, рапса, льна, арахиса и др.) создает предпосылки для получения белковых продуктов из вторичных продуктов производства растительных масел.

Дополнительными источниками белка некоторые авторы считают биомассу зеленых растений (трава, ряска, водоросли) [145, 312, 386, 411]. Однако в

настоящее время нет достоверных сведений о безопасности этих белков в отношении присутствия антипитательных факторов, загрязняющих веществ (кантоминантов), аллергенов, которые могут появляться в процессе переработки и оказывать негативное влияние на здоровье человека.

Целесообразность использования белков масличных культур в качестве функционального ингредиента обусловлена его высокой массовой долей в семенах и сбалансированным аминокислотным составом. В разные годы определенное промышленное развитие в мире получило производство рапсового, хлопкового, подсолнечного и арахисового белков. Ведутся исследования в области получения белковых продуктов из жмыхов и шротов семян льна, конопли, рапса и других масличных культур [33, 34, 98, 118, 441].

Несмотря на наличие общих характеристик, белки каждой масличной культуры обладают своими индивидуальными особенностями, в том числе изоэлектрической точкой и фракционным составом, что влияет на технологические приемы их выделения и функциональные характеристики получаемых белковых продуктов.

Выделение протеинов из растительного сырья. Экстракция является первым этапом выделения белков из растительного сырья. Использование в качестве сырья семян масличных культур требует его предварительного обезжиривания. Обезжиривание позволяет увеличить содержание протеина в жмыхах масличных культур от 35 до 55% [417]. Белки экстрагируют из обезжиренных семян диспергирующим агентом, который может быть водой, раствором солей, щелочей или кислот, а также каким-либо органическим растворителем. Выбор типа растворителя определяется фракционным составом белков, характерных для используемого сырья. Растворитель должен обеспечивать максимальное или оптимальное извлечение основных белковых фракций, типичных для перерабатываемого сырья.

Чаще всего используют следующие виды экстракции: щелочную и солевую, иногда кислотную.

Экстракция растворами щелочей наиболее эффективна для глобулиновой фракции белков. Для белков многих масличных семян типично преобладание глобулиновой фракции и традиционно используется щелочная экстракция. Использование щелочной экстракции при рН выше 10 с последующим изoeлектрическим осаждением (ИЭТ) может обеспечить высокий выход белка. Этот метод используется для выделения протеинов из рапса, подсолнечника, люпина, хлопкового шрота и других культур [120, 279, 386]. Для соевого белка авторами [308, 395] в диапазоне рН 9-10 был показан выход 71-84%; для рапса в этом диапазоне рН – 40-70% [280, 395]; для подсолнечника – 29-41% [392].

Растворы солей обеспечивают извлечение альбуминовой и глобулиновой белковых фракций, глютениновая фракция остается в сырье. Однако выход белка при этом ниже, чем в случае щелочной экстракции. Удаление соли из белкового солевого экстракта проводят методом ультрафильтрации либо диализом. Протеины, полученные солевой экстракцией, сохраняют свою нативную структуру благодаря мягким условиям, при которых не проходят сопутствующие процессы окисления, денатурации, сопровождающие щелочную экстракцию.

Для увеличения выхода белкового продукта некоторые авторы комбинировали солевую и щелочную способы экстракции [117, 288, 312, 358, 362, 403, 432] с последующим ИЭТ осаждением.

Авторы [417] сравнивали эффективность щелочной и кислотной экстракции. Кислотную экстракцию масличных жмыхов проводили при рН 2. ИЭТ белков достигали добавлением 0,1 N NaOH. Выход белкового продукта при щелочной экстракции для конопли, льна и рапса составил 16,67%, 13,33% и 14,67%, соответственно. В случае кислотной экстракции выход составил 10% для конопли, 8%- для льна, 8% - для рапса.

Методы интенсификации экстракционных процессов. В настоящее время разработаны разнообразные методы, позволяющие увеличить выход целевого продукта, снизить продолжительность процесса, уменьшить негативное действие высокой рН среды на состояние белковых структур и пр.

Использование ферментов (протеаз, целлюлаз и пр.) в процессе экстракции способствует увеличению выхода, снижению степени денатурации белка. Этот метод нашел широкое применение в практике выделения биополимеров, в том числе растительного белка, полисахаридов [262, 313, 345, 387]. Добавление протеаз при щелочной экстракции повышает эффективность экстракции: вследствие протеолиза белки легче экстрагируются. Более того, введение ферментов позволяет снизить pH экстракции и тем самым снизить степень денатурации белка, а также улучшить функциональные свойства белка [308, 395, 439]. Несмотря на очевидные преимущества использования ферментов для получения белка, этот метод практически не масштабирован в условиях промышленного производства из-за высокой стоимости ферментов [394].

Появился ряд эко-инновационных технологий, обладающих высоким потенциалом при извлечении белка и сохранения его нативных функциональных свойств: ультразвуковая экстракция, микроволновая, водная экстракция при низком давлении, экстракция при высоком давлении, импульсная электрическая и др. [237, 290, 373]. Некоторые примеры эффективности использования новых технологий представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Применение эко-инновационных технологий при выделении белка

| Технология | Белоксодержащее сырье | Эффективность | Источник |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------|
| Ультразвуковая экстракция | Обезжиренная мука зародышей пшеницы | Повышение выхода с 37 до 57% | [440] |
| Экстракция в присутствии протеаз | Соевая мука после тепловой обработки | Повышение выхода с 27,8 до 66,2% | [387] |
| Водная экстракция при низком давлении | Обезжиренная льняная мука | Оптимальный выход – 225,6 мг/г сырья | [295] |
| Электроактивация | Обезжиренная рапсовая мука | Извлечение белка 31,18-34,32% | [278] |

В работе [295] предложен способ водной экстракции при низком давлении как альтернативный традиционной экстракции растворителем. При водной экстракции обезжиренной льняной муки был получен оптимальный выход льняного протеина.

Электроактивация щелочных растворов при экстракции протеинов способствовала увеличению выхода белковых веществ по сравнению с щелочной экстракцией и ИЭТ осаждением [278].

Эти технологии используются, в основном, в исследовательской практике. Их внедрение будет способствовать решению ключевых проблем современной пищевой промышленности, а именно, обеспечение экономически эффективного, устойчивого и экологически чистого производства.

1.2.2 Технологии получения пищевых полисахаридов из растительного сырья

Роль полисахаридов в пищевых системах

Научный и практический интерес к исследованию полисахаридов остается высоким уже несколько десятилетий. Ранее, полисахариды применялись, в основном в фармацевтической промышленности в качестве вспомогательных веществ в производстве различных лекарственных препаратов и рассматривались как биологически активные вещества. В настоящее время наряду с этим их широко используют также в качестве функциональных пищевых ингредиентов и технологических добавок во многих областях пищевой промышленности.

Полисахариды характеризуются широким спектром положительного воздействия на организм человека. Проведенный рядом авторов анализ опубликованных данных, а также оригинальные статьи, свидетельствуют о наличии у полисахаридов выраженных антигипоксического, отхаркивающего, противовоспалительного, иммуностропного, энтеросорбирующего, гепатопротекторного, гиполипидимического, противоопухолевого, общеукрепляющего эффектов [54, 73, 162, 172, 197].

В пищевых продуктах полисахариды выполняют важную функцию, которая заключается в обеспечении их качества и текстуры: твердости, хрупкости, плотности, загустевания, вязкости, липкости, гелеобразующей способности. Именно благодаря полисахаридам образуется структура пищевого продукта – мягкая или хрупкая, набухшая или желеобразная.

Различия в строении и свойствах отдельных полисахаридов, используемых в качестве пищевых добавок типа гидроколлоидов, обуславливают многообразие выполняемых ими функций. Они выступают в роли желирующего фактора, загустителя, наполнителя, эмульгатора, агента набухания; фактора, препятствующего кристаллизации и синерезису; пенообразующего агента. Они не только увеличивают вязкость, но и могут способствовать повышению биологической и пищевой ценности тех продуктов, к которым их добавляют [5, 69, 104, 252]. Ни одна из пищевых добавок не выполняет столь разнообразных функций.

На основании общности свойств, проявляемых ими в пищевых системах, гидроколлоиды составляют самостоятельную группу пищевых ингредиентов. Существует несколько классификаций гидроколлоидов: по происхождению, по функциональным свойствам, по растворимости и прочие. Классификация по происхождению позволяет наиболее полно представить разнообразие полисахаридов, объединенных в группу гидроколлоидов. Такая классификация в виде схемы представлена на рисунке 1.1.

Большую группу гидроколлоидов, получаемых из экстрактов семян и других морфологических частей растений представляют камеди или гумми (от греч. *Κομμιδιον, κόμμι*), слизи - растворимые в воде или набухающие в ней полисахариды [90].

Многие из этих гидроколлоидов (относящиеся к некрахмальным полисахаридам), особенно выделяемые из экстрактов семян (слизи), а также камеди и экссудаты растений, являются физиологическими функциональными ингредиентами. В частности, их относят к растворимым пищевым волокнам (например, гуаровая и ксантановая камеди, полисахариды льняной слизи), которые

могут снижать уровень холестерина в крови, способствовать нормальному функционированию кишечника, проявлять пребиотический эффект [28, 335, 439].

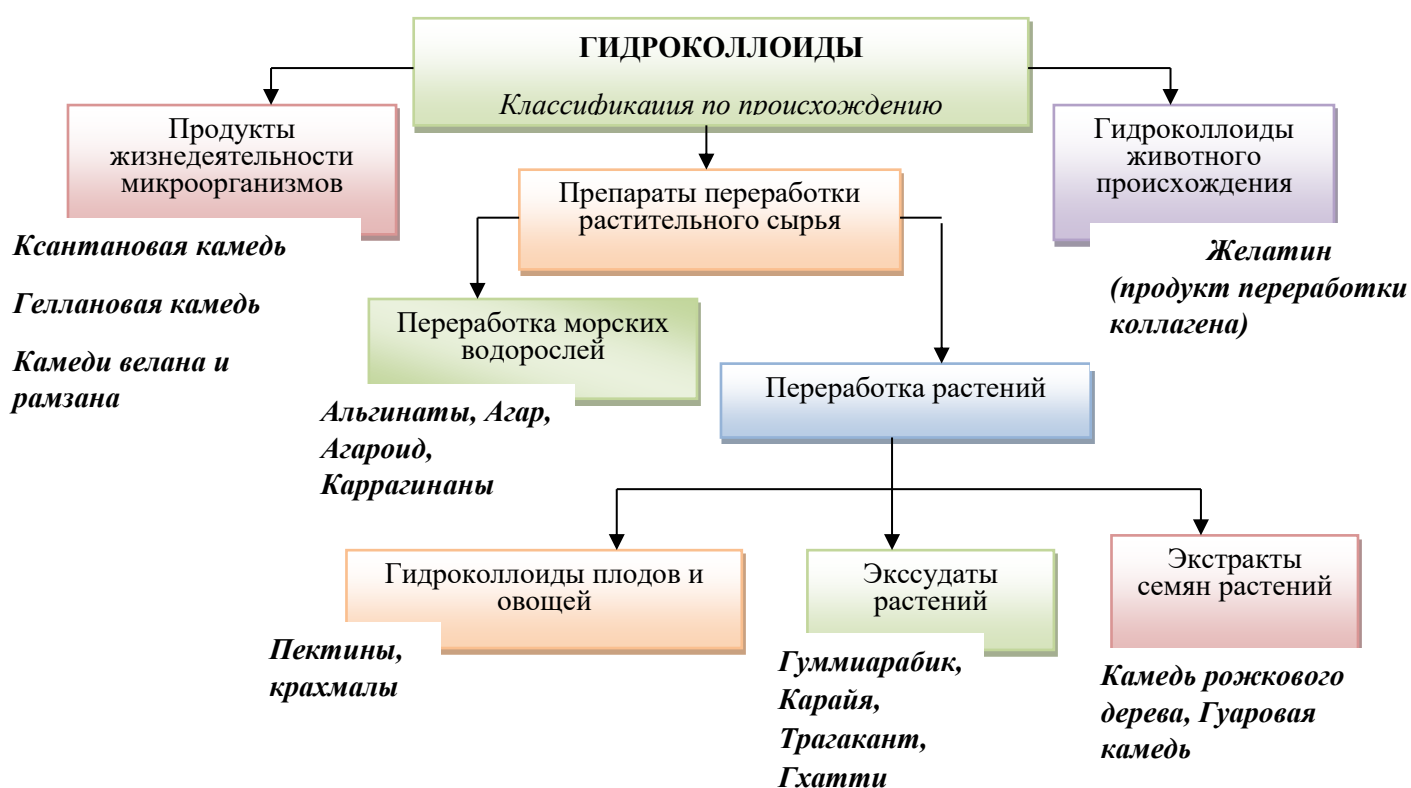


Рисунок 1.1 - Классификация гидроколлоидов по происхождению

Определена их суточная потребность, которая составляет 20 г для взрослого человека [90]. К пищевым волокнам относят промышленно выпускаемый β -глюкан овса. Проявляемые им физиологические эффекты типичны для растворимых пищевых волокон, которыми в различной степени обладают и другие растворимые полисахариды [201, 274].

Гидроколлоиды семян, производимые в промышленных масштабах представлены, в основном, гуаровой камедью и камедью бобов рожкового дерева.

В пищевой промышленности России гидроколлоиды используются уже более 30 лет как эффективные стабилизаторы и загустители при производстве молочных, мясных, рыбных продуктов, безалкогольных напитков. В последние 15 лет их активно используют также и в качестве улучшителей в производстве

хлебобулочных изделий [104]. В технологиях хлебопечения и кондитерских изделий нашли применение различные камеди: гуаровая, ксантановая, рожкового дерева, а также пектины, каррагинаны, карбоксиметилцеллюлоза и другие полисахариды [135, 169].

В хлебопечении гуаровая камедь способствует улучшению вкусовых характеристик продукта, изменению его реологических свойств, увеличению сроков хранения [398, 423].

Установлено, что гуаровая камедь может замедлять черствение хлеба за счет замедления ретроградации амилопектина, поскольку она взаимодействует в процессе хлебопечения преимущественно с крахмалом [400].

Камедь рожкового дерева, как многие промышленные гидроколлоиды используется в пищевых технологиях в качестве многофункциональной добавки [2]:

- в хлебобулочных изделиях улучшает водоудерживающие свойства, увеличивает срок хранения;
- в производстве мороженого – в качестве стабилизатора;
- в производстве сыров – увеличивает скорость коагуляции;
- в производстве мясных продуктов (колбасы, сосиски и пр.) – как связывающий и стабилизирующий агент, гомогенизирующий и улучшающий структуру и качество.

Полисахариды растительных слизей.

По своим функционально-технологическим свойствам к гидроколлоидам относят большую группу полисахаридов растительных слизей, в том числе и полисахариды слизей семян льна [89, 208].

Образование слизей происходит в различных органах растений: почки, кора, цветки, листья, стебли, плоды, семена, корни, корневища, луковицы, клубни. Они содержатся в наружных слоях клеток водорослей, семян подорожника, айвы, липы, льна, горчицы, а также во внутренних клеточных слоях подземных органов – корнях алтея, ятрышника, мать-и-мачехи [106].

Источники растительных слизей классифицируют по характеру образования слизей:

- сырье с интерцеллюлярной слизью (семена льна, айвы и др.)
- сырье с внутриклеточной слизью (корень и листья алтея, листья мать и мачехи).

Полисахариды растительных слизей представляют собой сложную смесь кислых и нейтральных гетерополисахаридов, образующихся в растениях в результате обмена веществ [250, 435]. Основу нейтральных полисахаридов растительных слизей составляют продукты полимеризации моносахаридов – D-галактозы, D-маннозы, L-арабинозы, D-глюкозы и их производных. В состав кислых полисахаридов помимо нейтральных моносахаридов входят уроновые кислоты и/или их кальциевые, калиевые и магниевые соли. Уроновые кислоты представляют сахара, у которых первичная спиртовая группа окислена до карбоксила.

Технологические свойства полисахаридов растительных слизей зависят от их молекулярной структуры, молекулярного веса и молекулярно-массового распределения, а также от их концентрации [226, 315, 334, 374].

Способы выделения полисахаридов растительных слизей

Полисахариды растительных слизей, а также камедей, эксудатов растений являются, в основном, хорошо растворимыми в воде полимерами. Поэтому их выделяют экстракцией с широкой вариабельностью параметров (температура, pH, продолжительность, соотношение сырья и экстрагента).

Экстракция является первой стадией выделения практически всех полисахаридов. Основным растворителем при экстракции углеводов, в том числе и полисахаридов растительных слизей является вода [267]. Экстракция полисахаридов обычно сопровождается растворением полярных низкомолекулярных соединений: неорганических солей, гликозидов, сахаров. При экстракции полисахаридов протекает конкурентная экстракция белков,

нуклеиновых кислот и других веществ. Поэтому дальнейшая обработка полисахаридного экстракта проводится для удаления сопутствующих веществ [65].

Полисахариды из вязких сырых экстрактов обычно выделяют осаждением или ультрафильтрацией с последующей сушкой. В зависимости от структуры полисахарида осаждение проводят при изменении температуры, либо с использованием различных осадителей. В случае водной экстракции в качестве осадителей используют органические растворители, смешивающиеся с водой. Это спирты (этиловый, изопропиловый) [113, 200, 238, 309], ацетон [405], уксусная кислота и др.

Для разделения смесей полисахаридов используют фракционное осаждение при разных концентрациях осадителя. Фракционирование осадителем основано на фазовом разделении растворов полисахаридов. Полисахариды, различные по химической структуре и молекулярной массе, обладают различной растворимостью. Добавление небольшого количества осадителя изначально приводит к осаждению полисахаридов с низкой растворимостью, последующее добавление осадителя постепенно осаждает полисахариды с относительно высокой растворимостью. Таким образом, достигается фракционное осаждение полисахаридов на основе дифференциальной растворимости. Как правило, растворимость полисахарида отрицательно коррелирует с его молекулярной массой, то есть градиентное осаждение часто вызывает осаждение полисахаридов в порядке убывания молекулярного веса [297].

Следует отметить, что для полисахаридов из различных растительных источников необходимо подбирать и осадитель и его оптимальную концентрацию. Одной из причин неполного осаждения полисахаридов из растворов может быть наличие некоторого количества примесей. Тем не менее, в случае выделения галактоманнана авторы [305] показали, что максимальный выход не менее 90% наблюдался при концентрации этанола 33,3% и изопропанола 28,6%. Галактоманнан характеризуется большим молекулярным весом, с чем, вероятно, связано его максимальное осаждение при столь невысоких концентрациях осадителя.

Кислые полисахариды могут быть отделены от нейтральных в виде нерастворимых солей: для осаждения альгиновой и пектовой кислот используют кальциевые или бариевые соли; соли аммония, калия и рубидия избирательно осаждают χ -каррагинан от остающегося в растворе λ -каррагинана. Также используют фракционное осаждение производных полисахаридов, например, полностью ацетилированных или метилированных эфиров [215].

Выход полисахаридов при водной экстракции в случае семян льна составляет в среднем 4-8% [238]. Увеличение выхода за счет повышения площади поверхности (измельчения) сырья осложняется неконтролируемым выходом белка в экстракт. Белки трудно отделить от полисахаридов, что снижает рентабельность этой технологии при промышленном масштабировании.

Тем не менее преимущество этого метода состоит в оптимальном выходе целевого продукта и небольших капитальных затратах; недостаток – трудоемкий процесс очистки и разделения полисахаридов и низкая скорость массообмена. Органические растворители, необходимые для осаждения также ограничивают промышленное использование этого метода в связи с современной тенденцией повышения безопасности и экологической чистоты производств.

Для интенсификации процесса экстракции растительных полисахаридов, в частности полисахаридов растительных слизей, используют современные инновационные технологии, аналогично выделению растительных белков и других биополимеров.

Использование водной экстракции семян льна под воздействием ультразвука позволяет ускорить массообмен и существенно снизить продолжительность процесса [125]. Ряд авторов [21, 127] для этой цели использовали механические колебания.

Положительный эффект ультразвуковой экстракции в сочетании с ферментативной показан в случае выделения водорастворимых полисахаридов из семян чиа и льна, а также β -глюкана овса [228, 329, 354].

Экологичным методом считается CO_2 экстракция. Особенностью сжиженного CO_2 является его способность извлекать не только липофильные

соединения, но и гидрофильные вещества [230, 260, 267, 270, 376, 419]. Сжиженный диоксид углерода – неполярный растворитель, не токсичен, пожаро- и взрывобезопасен, химически инертен. Благодаря низкой вязкости (в 14 раз меньше вязкости воды, в 5 раз – этилового спирта) считается экстрагентом с наилучшими диффузионными свойствами. Растворяющая способность сжиженного CO₂ растет при высоких давлениях и температурах, при этом меняются его плотность, и, следовательно, селективные и экстракционные свойства. Этот метод широко используется при получении биологически активных веществ из растительного сырья, в том числе жирорастворимых витаминов, пигментов, стеролов, токоферолов и пр.

Полисахариды, белки, пектины извлекаются в условиях сверхкритического состояния CO₂ до 100 МПа [58]. Основным недостатком этого метода является сложность аппаратуры, что ограничивает широкое использование способа сверхкритической экстракции (СК) ценных компонентов из растительного сырья.

Для промышленного масштабирования выделение полисахаридов растительных слизей с использованием водной экстракции и получение сухих экстрактов, вероятно, является наиболее перспективной и дешевой технологией несмотря на низкую скорость массообмена и связанную с ней высокую длительность процесса.

1.3 Семена масличного льна – биологически активное сырье для пищевой промышленности

1.3.1 Краткие сведения об истории, географии происхождения и возделывания льна

Лен как пшеница, ячмень, кукуруза, соя и хлопчатник относится к группе самых древних возделываемых растений. По мнению Г. Танфильева [174] родиной льна является Западная Персия, откуда он проник в другие страны, причисляемые к древнейшим очагам культуры льна – Индию, Китай, районы Средней Азии, а

также на запад и юго-запад, прежде всего Вавилон и Египет, где лен разводился вначале только ради получения съедобных семян. Лен на волокно в Египте стали разводить в конце третьего тысячелетия до нашей эры. Выделка льняных тканей в Египте достигла большого совершенства, эти изделия высоко ценились в Греции и Риме. Поэтому греки и римляне долгое время возделывали у себя лен исключительно на семена.

Для льна Вавилов определил 2 автономных центра происхождения, то есть две большие географические группы культурных сортов: Юго-Западная Азия и Северная Африка [16].

Для Юго-Западной Азии характерны обыкновенные европейские формы льнов-долгунцов и льнов-кудряшей, возделываемых на семена – с мелкими семенами, мелкими коробочками и цветами. Хотя к югу, в Европе наблюдается увеличение размера семян. Однако даже крупные европейские и азиатские расы кудряшей уступают по размерам типичным средиземноморским формам.

Ко второй группе относятся крупносемянные, крупнокоробочные, крупноцветковые расы, свойственные Египту, Тунису, Алжиру, Марокко и Европейскому побережью Средиземного моря, которые в России мало известны.

Для практических целей используется преимущественно вид – лен культурный, или посевной, *Linum usitatissimum*, который подразделяется на 5 подвидов: лен-долгунец, межеумок, кудряш, крупносемянный и полуозимый [82, 187]. Различия этих видов культурного льна наглядно проиллюстрированы на рисунке 1.2 [87].

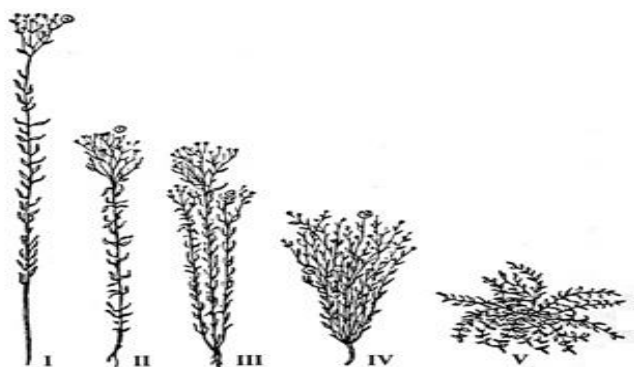


Рисунок 1.2 - Группы культурного льна:
I – лен-долгунец;
II, III – лен-межеумок;
IV – лен-кудряш;
V – стелющийся лен.

Краткая характеристика видов культурного льна представлена в таблице 1.6

Таблица 1.6 - Разновидности культурного льна

| Разновидность | Хозяйственно биологические признаки | Основная продукция |
|---------------------------|---|--------------------|
| Лен-долгунец | Растения одностебельные, высота 70-125 см и более. Соцветие – зонтиковидная кисть с 1-4 коробочками с семенами. Масса 1000 семян 3,5-6,5 г. Содержание жира 35-40%, волокна в стеблях -19-32% и более | Волокно |
| Лен-межеумок | Растения в основном одностебельные, высота 50-70 см. Соцветие более развито, чем у долгунца, с 10-20 коробочками. Масса 1000 семян 7-9 г. Содержание волокна – 12-18%, содержание жира – 39-48%. | Волокно Семена |
| Лен-кудряш | Стебель сильно ветвится у основания, растения низкорослые, высота 25-50 см с хорошо развитым соцветием, в котором 100 и более коробочек. Масса 1000 семян 4-8 г, содержание жира 41-45% | Семена |
| Крупносемянный лен | Растения одностебельные, высота 45-70 см. Отличается крупными семенами. Масса 1000 семян 10-13 г, содержание жира 39-42% | Семена |
| Стелющийся полуозимый лен | Куст многостебельный, 20-30 и более стеблей на одном растении, высота 45-70 см. Соцветие сильно развито, в нем 100 коробочек и более. Масса 1000 семян 5-7 г, содержание жира 37-40% | Семена |

В древнегреческой и древнеримской литературе упоминания о льне начинают встречаться с VI в. до нашей эры. Слова «лион» (греческое) и «лиnum» (латинское), от которых происходит и русский «лен», встречаются в произведениях Гомера, Геродота, Фукидида, Теофраста, Плиния и других писателей древнего мира [109].

От римлян лен позаимствовали галлы и кельты – основоположники льноводства в Западной Европе, а от греков – славяне, положившие начало разведению льна в Восточной Европе.

С началом новейшего периода лен стал возделываться на волокно и масло, то есть в зависимости от способа переработки. Уже в древности прослеживается специализация при обработке льна. Так, древние индусы возделывали лен только

на семена, а в Египте – ради волокна [181]. Тем не менее, Индия – единственная страна, как отмечал Н. Вавилов, где культивировали мелкосемянные и крупnoseмянные льны. Здесь сосредоточен максимум сортовой изменчивости этой культуры.

В Америке лен играл большую роль в качестве первого культурного растения на землях из-под девственных лесов, а также в качестве предшественника пшеницы. В Африке и Австралии возделывание льна получило распространение уже в новейшее время, когда начали разводить культурные типы льнов отдельно в зависимости от целей и способов их использования (на волокно и масло).

В России лен культивировался с древних времен. О посевах льна на русской равнине, в Колхиде, есть упоминания у Геродота, относящиеся к VI в. до нашей эры [109].

Большое внимание уделял развитию этой культуры в России Петр I. В целях развития маслобойного производства он запретил продавать льняные семена на экспорт, чтобы торговали только льняным маслом. До 1900 г в России льняного масла вырабатывалось и потреблялось больше, чем подсолнечного. Расширение посевов подсолнечника, а также преимущества подсолнечного масла в хранении постепенно вытеснили льняное из широкого употребления [143].

Быстрый рост цены на льняное волокно и повышение урожайности зерновых и овощных культур привели к снижению потребления семян льна в качестве пищевого продукта. Поэтому долгое время семена льна не использовались в питании.

Для промышленной переработки лен выращивается в основном двух видов: лен-долгунец, идущий на волокно, с маловетвистым стеблем, и лен-кудряш – масличная культура с ветвистым стеблем высотой до 50 см. Лен-межеумок занимает промежуточное положение между первыми двумя видами. Волокнистый и масличный типы льна обычно культивируют отдельно. Смешанные типы льна – низкорослые волокнистые типы (к ним относится и лен-межеумок) дают большее содержание масла по сравнению с волокнистым льном. На этом основании в Америке виды льна подразделяют на три типа: длиноволокнистый, коротковолокнистый и масличный [82].

Накануне первой мировой войны среднегодовая продукция мирового льноводства составляла около 28 млн. ц семян и 7,5 млн. ц волокна. Первое место в мировом сборе льносемян принадлежало Аргентине, второе – России. В мировом сборе льна-волокна доля России составляла около 85%. Общая площадь подо льном в 1913 г достигла в России 1,4 млн. гектаров, в том числе льном-кудряшом было занято около 400 тыс. гектаров. Валовой сбор льносемян в 1913 году составил 5,9 млн. ц. [100]. СССР также был мировым лидером по производству и экспорту продукции льноводства [195].

В 1956 году на территории РСФСР высевалось 38,9% всех посевов масличного льна в СССР [100]. В этот период большие площади посевов масличного льна были размещены: в Тюменской области – 20%; Ставропольском крае – 18%; Алтайском крае – 13%; Омской области – 11%, Волгоградской области (в то время Сталинградской) – 9%; Новосибирской области – 6% всех посевов этой культуры на территории РСФСР.

Расширение посевов масличного льна было связано с потребностями народного хозяйства в льняном масле для технических целей. Однако производство льна (прежде всего из-за низкой урожайности) не удовлетворяло потребности в этой культуре. Эту проблему решали в то время за счет освоения целинных и залежных земель на Востоке страны. Районы Сибири, Урала по климатическим и почвенным условиям благоприятны для возделывания масличного льна: выше урожайность, более высокое содержание масла в семенах (44-45% по сравнению с 39% в семенах того же сорта, выращенных в Ставропольском крае). Отмечалось высокое качество масла из семян льна, выращиваемых в восточных районах, особенно по высыхаемости (т.е. высокое значение йодного числа, характеризующего непердельность) [50].

Расширение посевов масличного льна в степных и лесостепных районах Сибири было обусловлено еще экономически. Из всех масличных культур лен масличный представляет собой наименее трудоемкую культуру и почти не отличается по затратам труда от зерновых культур; при этом лен как культуру сплошного сева и рано созревающую можно убирать раньше зерновых.

1.3.2 Современные сорта и направления селекции масличного льна

Лен – культура комплексного использования с разнонаправленным применением льносырья в различных отраслях народного хозяйства. В формировании величины и качества урожая льнопродукции решающая роль принадлежит сорту и надежной системе семеноводства. При этом и развитие программ по генетическим ресурсам льна имеет особое значение.

Селекционное дело – это трудоемкая и экономически сложная область. В процессе селекции материал оценивают по его хозяйственным и биологическим свойствам, являющимися объектами селекции. Создание линий с высокой экспрессией селективируемого признака позволяет решать проблему создания исходного материала по конкретным направлениям. При этом следует учитывать роль типичности селекционного фона, т.е. соответствие условий отбора средовым и агротехническим условиям, в которых в дальнейшем будет выращиваться сорт.

Сорта льна чаще всего создаются методом индивидуального отбора, как потомство одного растения. Процесс получения генетически стабильных генотипов льна достаточно длительный.

В связи с высоким интересом к льняному маслу и целесообразностью расширения ареала возделывания масличного льна ведутся исследования по выявлению и созданию высокопродуктивных форм масличного льна, адаптированных к условиям Северо-Западного региона России. В результате были получены высокопродуктивные формы масличного льна с высоким содержанием масла в семенах (48-49%), с повышенной урожайностью семян, устойчивые к полеганию и болезням, в то же время характеризующиеся непродолжительным вегетационным периодом [46, 99].

В селекции льна масличного исследовали продолжительность вегетационного периода, селекцию на холодостойкость в разных фазах развития, на устойчивость к ржавчине и другим болезням, которые снижают урожай культуры в среднем на 20-30%, выравненность стеблестоя, дружности созревания, а также созданию сортов разнонаправленного и двойного использования. С 80-х

годов 20 века освоено применение мутагенеза для получения сортов льна с заданными свойствами. Так, именно в результате химического мутагенеза получены формы льна с измененным составом жирных кислот [23, 86, 139].

В результате селекции льна на улучшение качества масла, используемого в технических целях, происходило повышение содержания линоленовой кислоты. В противоположном направлении велась селекция на создание сортов льна, дающих пищевое масло. Вследствие этого диапазоны генотипической изменчивости содержания жирных кислот в масле семян селекционных линий и образцов генетической коллекции льна расширились до 4-28% пальмитиновой, 2-10% стеариновой, 8-44% олеиновой, 5-75% линолевой и 2-70% линоленовой кислот [39].

Широкие диапазоны наследственной и средовой вариации содержания жирных кислот позволяют удовлетворять противоположные требования к льняному маслу, предъявляемые лакокрасочной и пищевой промышленностями. Для получения высококачественной натуральной олифы желательно высокое йодное число масла за счет максимального содержания в нем линоленовой кислоты. Промышленность, производящая полиненасыщенные маргарины, требует масло с минимальным количеством линоленовой и повышенным содержанием линолевой кислоты, как минимум до 62% [39].

Ведутся работы в направлении двойного использования льна масличного [151].

Современные молекулярные методы являются мощным дополнением к традиционным фенотипическим подходам в классификации растений и дают новое понимание биологического разнообразия.

Следует отметить, что для вида *L. usitatissimum* характерно широкое разнообразие легко идентифицируемых генов-маркеров. В связи с этим в селекции льна важным направлением является работа по формированию коллекций по морфологическим признакам (окраска репродуктивных органов цветка, семян и пр.) [47].

В Амурской области лен масличный некоторые авторы рассматривают как альтернативу сое, дополняющую ее в структуре севооборота [219].

Селекция льна ведется практически во всех льносеющих странах. Научные направления в современном западноевропейском льноводстве связаны со снижением сельскохозяйственного риска при возделывании льна и повышением экономической эффективности льнопроизводства, усовершенствованием процессов переработки льнопродукции и развитием новых направлений в использовании культуры льна.

Во многих странах (Австралия, Канада, Франция и др.) также, как и в России ведутся селекционные работы по созданию низколиноленовых сортов льна. Так, в Канаде создан и введен в культуру сорт льна *Linola*, который характеризуется содержанием линоленовой кислоты 2,4%, что обеспечивает большой экономический эффект за счет значительного увеличения периода хранения масла и его широкого использования для производства различных продуктов питания, включая производство маргарина с пониженным содержанием жира. Также в пищевой промышленности широко используется сорт *Solin*, содержащий 2% линоленовой кислоты, до 4%- стеариновой, более 6% - пальмитиновой, олеиновой – 17% и линолевой – 70%.

В Индии преобладает невысокий масличный лен с различной окраской цветков и семян. Индийские масличные льны используются отечественными селекционерами при создании коллекции сортов льна с маркерными морфологическими признаками.

Современные отечественные сорта льна масличного представлены в госреестре селекционных достижений (на 2020г) в количестве 31 сорта [30]. В таблице 1.7 приведены некоторые характеристики современных сортов льна, выведенных различными семеноводческими хозяйствами и занесенных в государственный реестр селекционных достижений. Они характеризуются высокой семенной продуктивностью, устойчивостью к полеганию и болезням. Среди них 10 сортов обладают желтым цветом семян: Рациол, Ы117, Еруслан, Лучезарный, Итиль, Светлячок, Исток, Санлин, ЛМ 98, ВНИИМК 630.

Таблица 1.7 – Современные отечественные сорта масличного льна, занесенные в Госреестр селекционных достижений

| № п/п | Название сорта | Цвет семян | Содержание жира, % | Масса 1000 семян | Средняя урожайность, ц/га | Рекомендуемые регионы районирования |
|-------|-----------------|-------------------|--------------------|------------------|---------------------------|--|
| 1 | Ы117 | Жёлтый | 40,5 | 6,2 | 4,4 | Центральный, Волго-Вятский, Центрально-Черноземный, Северо-Кавказский регионы, Пермский край |
| 2 | ВНИИМК 620 ФН | Коричневый | 45,4 – 43,8 | 7,9 – 6,5 | 15,5 – 21,2 | Волгоградская область, Красноярский, Пермский и Ставропольский край, Центрально-Черноземный регион |
| 3 | Авангард | Коричневый | 42,0 – 46,0 | 6,3 – 6,8 | 10,8 – 21,7 | Центрально-Черноземный регион, Волгоградская, Ростовская области, Ставропольский край |
| 4 | Радиол (RACIOL) | Жёлтый | 35,0 – 38,8 | 5,7 – 6,2 | 9,8 – 28,0 | Волго-Вятский, Центрально-Черноземный, Средневолжский регионы, Новосибирская область |
| 5 | Бинго (BINGO) | Коричневый | 36,5 – 38,2 | 6,5 – 8,0 | 13,5 – 18,6 | Волгоградская и Нижегородская области. Пермский край |
| 6 | Фокус | Коричневый | 40,8 – 45,0 | 5,8 - 6,7 | 10,0 - 22,4 | Волгоградская область. Ставропольский край |
| 7 | Салют | Тёмно-коричневый | 41,2 – 44,9 | 5,4 – 6,6 | 9,1 – 27,5 | Волгоградская, Новосибирская области. Пермский край |
| 8 | Каолин (Kaolin) | Светло-коричневый | 41,85 | 6,9 | 17,0 – 27,7 | Республика Татарстан |
| 9 | Ялта | Тёмно-коричневый | 44,2 | 6,3 | 13,1 | Северо-Кавказский регион |
| 10 | Небесный | Тёмно-коричневый | 40,3-43,5 | 6,3-6,8 | 10,3-12,8 | Волго-Вятский, Северо-Кавказский регионы |
| 11 | Уральский | Коричневый | 42,5 – 46,8 | 7,0 – 7,4 | 8,5 – 16,0 | Пензенская область, Пермский край |
| 12 | Еруслан | Жёлтые | 41,2 | 6,8 | 17,4 – 16,0 | Пензенская область |
| 13 | Нилин | Коричневый | 42,1 – 41,3 | 5,8 – 6,4 | 10,4 – 17,8 | Волго-Вятский регион |
| 14 | Лучезарный | Жёлтый | 40,8 | 6,1 | 8,5 – 6,8 | Саратовская область |
| 15 | Микс | Коричневый | 42,7- 44,0 | 6,9 - 7,2 | 9,5 – 18,6 | Волгоградская, Воронежская области Ставропольский край |
| 16 | Рашель | Коричневый | 40,7 | 5,4 | 6,9 – 9,5 | Саратовская область |

| | | | | | | |
|----|-----------------|-------------------|-----------|-----------|-------------|--|
| 17 | Итиль | Жёлтый | 44,2-45,9 | 4,9 – 6,9 | 9,9 – 16,0 | Волгоградская и Саратовская области |
| 18 | Абакус (Abacus) | Коричневый | 44,7 | 6,2 – 7,2 | 14,0 – 16,0 | Пензенская область |
| 19 | Светлячок | Жёлтый | 49,1 | 6,6 | 9,0 | Северо-Кавказский регион |
| 20 | Радуга | Светло-коричневый | 41,8 | 6,4 | 8,4 | Ставропольский край |
| 21 | Янтарь | Коричневый | 42,0 | 6,1-7,6 | 11,4 – 14,2 | Пензенская область и Пермский край |
| 22 | ВНИИМК 620 | Коричневый | 43,3-45,4 | 6,5-7,9 | 13,7-15,2 | Волго-Вятский, Северо-Кавказский, Средневожский, Уральский регионы |
| 23 | Флиз | Коричневый | 46,6 | 7,2 | 4,8 – 11,0 | Волгоградская область, Ставропольский край |
| 24 | Северный | Коричневый | 42,1-43,8 | 4,1-6,2 | 8,5 | Волго-Вятский, Нижневожский, Уральский регионы |
| 25 | Исток | Жёлтый | 43,1 | 5,2-6,5 | 15,0 | Средневожский |
| 26 | Ручеек | Коричневый | 49,0 | 5.8-7.3 | 14.3-8.9 | Волго-Вятский, Северо-Кавказский, Средневожский, Нижневожский регионы |
| 27 | Сокол | Коричневый | 47,7 | 6,5-8,1 | 14,3 – 15,1 | Волго-Вятский, Средневожский, Западно-Сибирский регионы |
| 28 | Санлин | Жёлтый | 42,2 | 5,1-6,6 | 17,3 | Средневожский |
| 29 | ЛМ 98 | Жёлтый | 42,8 | 5,0-6,2 | 16,3 | Волго-Вятский, Центрально-Черноземный, Средневожский, Восточно-Сибирский регионы |
| 30 | Кинельский 2000 | Коричневый | 40,0 | 6,6 | 16,2 | Средневожский регион |
| 31 | ВНИИМК 630 | Жёлтый | 48,3 | 7,6 | 15,7 | Северо-Кавказский регион |

Подбор сортов является наиболее дешевым, доступным и эффективным направлением рентабельного производства. При правильной агротехнике сорта льна дают наибольшую отдачу, прежде всего, в тех зонах, в которых они допущены к возделыванию. Технология возделывания отдельных сортов определяет их отношение к почве, влаге, удобрениям, устойчивости к заболеваниям.

Результаты селекционной работы свидетельствуют о большой перспективе возделывания льна масличного в различных почвенно – климатических зонах страны для получения ценного пищевого сырья.

1.3.3 Биохимическая характеристика семян льна

Семена льна являются источником основных функциональных пищевых ингредиентов и биологически активных веществ, оказывающих благотворное влияние на организм человека. В последние 30 лет проводятся широкие экспериментальные исследования по влиянию семян льна и их биологически активных веществ на снижение и профилактику различных заболеваний [225, 289, 303, 324, 370, 427].

Разнообразие биохимического состава семян льна представлено на рисунке 1.3. В льняном семени в среднем содержится 35- 43% жира, 18 - 23% белка, около 22% безазотистых экстрактивных веществ, $\approx 9\%$ клетчатки, $\approx 3\%$ золы и $\approx 8\%$ воды [136, 137].

Липиды семян льна. Масличность семян льна — наследственный признак, который варьирует в зависимости от условий выращивания. Отдельные факторы внешней среды в разной степени влияют на накопление в семенах жира, белка и других веществ, что приводит к ненаследственным изменениям соотношения между этими фракциями и вследствие этого – к варьированию масличности семян [39].

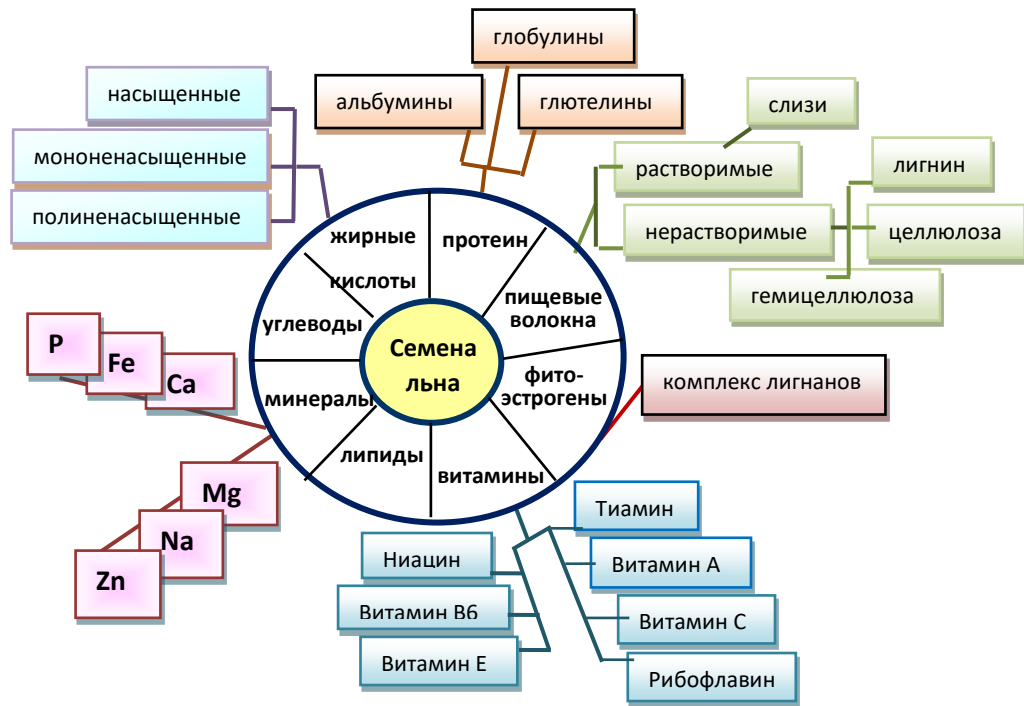


Рисунок 1.3 – Биохимический состав семян льна

Так в одинаковых условиях возделывания масличность льнов-долгунцов характеризуется более низкими показателями по сравнению с межеумками и кудряшами [39]: средняя масличность, %

| | |
|----------------|------|
| долгунцы | 39,3 |
| межеумки | 42,3 |
| кудряши | 44,5 |

Основной маслосодержащей тканью семян является ядро. Льняные семена на маслозаводах перерабатывают без отделения семенной оболочки, которая прочно срастается с эндоспермом семян.

Липиды высших растений по функциональной роли в организме обычно подразделяют на запасные, являющиеся в химическом отношении триглицеридами жирных кислот, восками, углеводородами, и конституционные – т.е. липиды липопротеидных мембран клетки, представленные фосфолипидами, гликолипидами, сульфолипидами и т.д.

Нейтральные липиды льняного масла (не содержащие атомов азота, фосфора, серы) в первую очередь представлены триглицеридами или триацилглицеринами с разными жирно-кислотными остатками. Основные насыщенные и ненасыщенные

жирные кислоты, входящие в состав глицеридов льняного масла показаны в таблице 1.8.

Таблица 1.8 - Жирнокислотный состав льняного масла*

| Название кислоты | Символ | Формула | Содержание, % |
|----------------------|-------------------|---|---------------|
| насыщенные: | | | |
| пальмитиновая | C _{16:0} | CH ₃ – (CH ₂) ₁₄ - COOH | 4,7-8,6 |
| стеариновая | C _{18:0} | CH ₃ – (CH ₂) ₁₆ - COOH | 2,2-6,3 |
| ненасыщенные: | | | |
| олеиновая | C _{18:1} | CH ₃ (CH ₂) ₇ CH = CH(CH ₂) ₇ COOH | 13,0-22,0 |
| линолевая | C _{18:2} | CH ₃ (CH ₂) ₄ CH = CHCH ₂ CH = CH(CH ₂) ₇ - COOH | 12,2-17,8 |
| линоленовая | C _{18:3} | CH ₃ CH ₂ CH = CHCH ₂ CH = CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH | 39,8-60,9 |

*Источники: [235], [287], [357], [366], [388], [408]

Ценность льняного масла определяется высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, особенно α -линоленовой (ALA), и низким содержанием насыщенных (таблица 1.8). Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) льняного семени – α -линоленовая (ω -3) (ALA) и линолевая (ω -6) (LA) признаны эссенциальными. Они являются предшественниками длинноцепочечных ПНЖК человеческого организма и входят в состав практически всех клеточных мембран [277, 335]. ALA метаболизируется в докозгексаеновую кислоту (DHA) (ω -3) и эйкозопентаеновую кислоту (EPA) (ω -3). О пользе для здоровья всех ω -3 жирных кислот (ALA, EPA и DHA) широко известно, включая сердечно-сосудистые заболевания, гипертонию, атеросклероз, диабет, рак, артрит, остеопороз, аутоиммунные нарушения и неврологические расстройства [282, 406]. ALA льняного семени обладает противораковой активностью, уменьшает содержание триглицеридов в крови, понижает содержание холестерина, оказывает антитромботическое и противовоспалительное действие [246, 258, 299, 383].

Линоленовая кислота в комбинации с линолевой и другими полиеновыми кислотами влияют на абсорбцию жирорастворимых витаминов А, Д, Е и К [183]. Также ω -3 ПНЖК рассматриваются в качестве компонента лечебной диеты при ожирении [25, 351].

Баланс ω -3 и ω -6 ПНЖК важен для гомеостаза и нормального развития человеческого организма. Высокое содержание ω -6 в рационе человека сдвигает его физиологическое состояние, вызывая увеличение вязкости крови, спазмы и сужение сосудов, тогда как ω -3 обладают антистрессовым, антиаритмическим и сосудорасширяющими свойствами [25, 249]. Соотношение этих кислот считается оптимальным как ω -6: ω -3 = (5-10):1 [78]. Баланс α -линоленовой и линолевой кислот в льняном и популярных маслах представлен в таблице 1.8 [200].

Таблица 1.9 - Содержание основных ненасыщенных жирных кислот в растительных маслах

| Продукт | Среднее содержание (% от суммы жирных кислот) | | | ω -6: ω -3 |
|--------------------|--|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | Олеиновая (ω -9) | Линолевая (ω -6) | Линоленовая (ω -3) | |
| Льняное масло | 24,0 | 19,0 | 45,0 | 1: 2,4 |
| Пшеничное масло | 22,0 | 42,0 | 10,0 | 4,2: 1 |
| Подсолнечное масло | 26,0 | 46,0 | 0,2 | - |
| Соевое масло | 22,0 | 53,0 | 7,5 | 7,1: 1 |

В подсолнечном масле, широко используемом на территории страны, ω -3 ПНЖК практически отсутствуют. В пшеничном масле содержание ω -6 в 4 раза выше ω -3. Однако пшеничная мука содержит не более 1,3% жира, что не может восполнить суточную потребность организма в ПНЖК несмотря на то, что мучные изделия составляют значительную долю в рационе питания россиян. В соевом масле баланс ПНЖК можно считать оптимальным, однако его потребление в России значительно меньше по сравнению с подсолнечным. Из всех популярных пищевых растительных масел льняное является концентрированным источником ω -3 ПНЖК и перспективным компонентом для создания продуктов с улучшенным жирнокислотным составом.

Минорные липиды и жирорастворимые соединения включают моноацилглицериды, диацилглицериды, токоферолы, стеролы, фосфолипиды, воски, свободные жирные кислоты, каротиноиды [404].

Токоферолы являются самыми распространенными в природе эффективными антиоксидантами. Как правило, антиоксидантная активность изомеров

токоферолов увеличивается в ряду: α , β , γ , δ [265]. Наибольшее содержание в семенах льна и льняном масле - у γ -токоферолов (мг/кг): в среднем 29,7 по сравнению с 0,55 (α -токоферол) и 0,45 (δ -токоферол) [357].

Протеины льняного семени. Помимо жира, в семенах масличных, к которым относятся и льносемена, накапливается большое количество белка; по его содержанию они в 1,5-2 раза превосходят злаки и уступают лишь бобовым. Поэтому по содержанию белка масличные рассматриваются также в качестве ценного резерва белка.

Белок в семенах льна сосредоточен большей частью в эндосперме, меньше его в ядре и совсем незначительно в оболочке. Известно, что содержание белка, как и масла, определяется сортом, а также зависит от региона, года выращивания. Так, например, интервал межсортовой изменчивости по содержанию белка в 2008 г в Татарстане составил 8,5%, в 2009г – 6,2%, что является достаточно широким для качественного признака. При этом было показано, что доля влияния генотипа на проявление показателя «белковость» достигает 60,6%; условий года – 2,4%; их взаимодействия 37,0% [72].

Протеины в семенах льна являются вторым компонентом после липидов (18-25%). После удаления масла в зависимости от технологии процесса в обезжиренных семенах льна (жмыхе или шроте) содержание протеинов может составлять от 25 до 45%. Протеины семян льна, характеризуются сбалансированным аминокислотным составом и высокой питательной ценностью [233, 289, 311, 375]. Аминокислотный профиль протеинов семян льна представлен на рисунке 1.4 [200].

Следует отметить преобладание суммы незаменимых аминокислот в белковом комплексе семян льна. Для протеинов семян льна характерен высокий уровень ароматических аминокислот – фенилаланина и тирозина, которые обеспечивают функции щитовидной железы и способствуют улучшению деятельности центральной нервной системы.

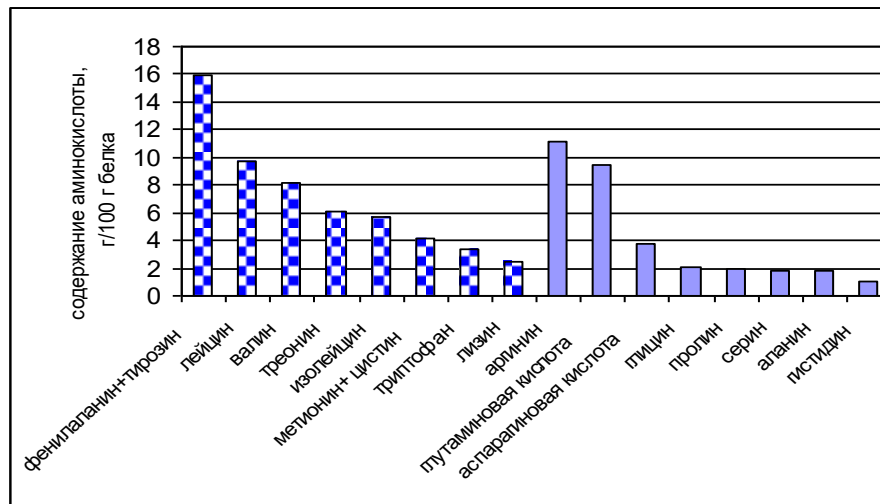


Рисунок 1.4. Аминокислотный профиль протеинов семян льна:

■ - незаменимые аминокислоты; ■ - заменимые аминокислоты

Соотношение лизин/аргинин для семян льна значительно ниже (0,22 – 0,25), чем для сои (0,88), что свидетельствует о меньшей атерогенности льняного белка по сравнению с соевым. Низкий показатель говорит о положительном влиянии на состояние сердечно-сосудистой системы [255, 314, 343].

Биологическая активность пептидов из семян льна обуславливает уменьшение риска сердечно-сосудистых болезней [427].

В семенах льна присутствуют олеозины – липофильные белки, ассоциированные с липидами с молекулярной массой 16-24 kDa и составляющие не более 7 % общего содержания протеинов [418, 424], а также Cd-связанные белки (~ 7%) с небольшой молекулярной массой 1,6 kDa [331].

Пищевые волокна семян льна. Семена льна известны, не только как, источник полиненасыщенных жирных кислот, полноценного белка, но и некрахмальных полисахаридов, сосредоточенных в их слизевых клетках. Некрахмальные полисахариды (non-starch polysaccharides) представляют собой группу веществ, называемых плохо перевариваемыми углеводами (low-digestible carbohydrates) или пищевыми волокнами (dietary fiber) [266].

Пищевые волокна относят к особо значимым физиологически функциональным ингредиентам, для которых определены уровни суточного потребления [90], и к пищевым добавкам, обладающим широким спектром

функционально-технологических свойств. В группу пищевых волокон входят в основном растительные полисахариды, которые существенно влияют на процессы переваривания, усвоения, микробиоциноз и эвакуацию пищи.

Растворимые пищевые волокна семян льна представлены полисахаридами слизей, которые относятся к пищевым добавкам типа гидроколлоидов [94]. Их роль в метаболизме пищевых веществ аналогична растительным пищевым волокнам, выделенным из других культур.

Другую часть углеводов льняного семени составляет нерастворимая фракция клетчатки, которая представлена целлюлозой, гемицеллюлозой и лигнином; их роль аналогична действию пищевых растительных волокон [391]. Полисахариды слизи снижают риск развития диабета, коронарно-сосудистых заболеваний. Клетчатка льняного семени является одним из факторов, способствующих уменьшению ожирения [370].

Лигнаны семян льна. Льняное семя является одним из богатейших источников лигнанов, относящихся к классу фитоэстрогенов. Это вещества растительного происхождения, которые проявляют эстрогеноподобную активность в организме человека [303, 391].

Лигнаны, как и лигнины являются производными фенолоспиртов типа кониферилового спирта. Лигнаны представляют собой продукты димеризации кониферилового спирта. Принципиальная схема строения лигнанов показана на рисунке 1.5.

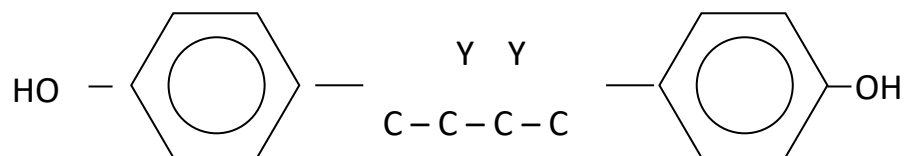


Рисунок 1.5 - Принципиальная схема строения лигнанов [10]

Лигнаны состоят из двух фенилпропаноидных единиц с углеродным скелетом С6-С3, соединенных между собой β-углеродными связями боковых цепей. Структурные особенности лигнанов определяются характером заместителей

в ароматических кольцах, степенью насыщенности боковой цепи, степенью окисленности Су и Су1 [18].

Семена льна содержат в 75-800 раз больше лигнанов по сравнению с злаковыми культурами (таблица 1.10) [273, 311].

Таблица 1.10 - Содержание предшественников лигнанов*

| Пищевая группа | Содержание лигнанов, мкг/100г |
|---------------------------|-------------------------------|
| Льняное семя | 52679 |
| Сушеные морские водоросли | 900 |
| Другие масличные семена | 638 |
| Бобовые культуры | 562 |
| Отруби хлебных злаков | 486 |
| Хлебные злаки | 369 |
| Овощи | 144 |
| Фрукты | 84 |

*- Концентрация предшественников лигнанов в растениях определена добавлением этих растений в пищу млекопитающим с последующим измерением общего увеличения содержания лигнанов в моче.

Преобладающим среди лигнанов в льняном семени является дигликозид секоизолацирезинола (СДГ): на его долю приходится от 1 до 5% от массы семени льна [349, 429]. Наряду с ним в состав семян льна входят лигнаны пинорезинол, изолацирезинол и матаирезинол, а также другие фенольные соединения, обладающие высокой биологической активностью: п-кумаровая и феруловая кислоты, обнаружены гликозиды п-кумариновой кислоты, феруловой и кофеиновой кислот [183, 349, 429]. Лигнаны в льняном семени сосредоточены, в основном, в оболочке; в льняном масле они не найдены [224].

Основной лигнан льняного семени – дигликозид секоизолацирезинола (СДГ) в организме человека под действием микрофлоры кишечника метаболирует в энтеролактон и энтеродиол [307]. В многочисленных эпидемиологических исследованиях показано, что лигнаны льняного семени снижают риск развития гормонально-зависимых опухолей или замедляют их рост, проявляют заметную антиоксидантную активность [225, 259, 303, 324, 361, 415].

Все эти соединения: СДГ, гликозиды фенолокислот известны более 40 лет и могли бы найти широкое применение в качестве ценных ингредиентов и препаратов в пищевой и фармацевтической промышленности. Однако до настоящего времени не осуществлены промышленные технологии по их производству.

Антипитательные вещества семян льна. Льняное семя, наряду с ценными биологически активными веществами, также содержит соединения, которые могут влиять на процессы усвоения пищевых продуктов и образование нежелательных веществ. К этим соединениям относятся цианогенные гликозиды, линатин, фитиновая кислота, некоторые продукты окисления липидов. Из цианогенных гликозидов в семенах льна присутствуют линамарин, линустатин, неолинустатин. Общее содержание цианогенных гликозидов в семенах льна варьирует в пределах 2,5-5,5 мг/г. При этом в отечественных сортах преобладает линамарин: его обнаружено более 23%, линустатина – 4,6%, неолинустатина – 4,9%, а в сортах зарубежной селекции, в основном канадских преобладает линустатин [82, 276, 389]. В настоящее время установлено, что семена льна содержат цианогенные гликозиды на безопасном для человеческого организма уровне, который не оказывает отрицательного воздействия на здоровье человека [152, 183, 203].

Линатин – высокомолекулярное соединение, являющееся в фармакологическом аспекте антагонистом витамина В6, то есть ингибирует усвоение пиридоксина (витамина В6). Однако, в исследовательской практике не найдено влияния потребления продуктов и кормов с использованием льняного сырья на снижение витамина В6, как у человека, так и у животных [404].

Фитиновая кислота оказывает на организм человека два противоположных эффекта. Она проявляет антиоксидантный, противоопухолевый, гипохолестерольный и гиполипидемический эффекты [369]. У человека и многих животных отсутствует пищеварительный фермент фитаза, поэтому входящие в состав фитина фосфаты и инзитол организмом не усваиваются [241]. Фитиновая кислота связывает белок и некоторые макро- и микроэлементы (К, Mg, Zn, Fe, Cu), что снижает их биодоступность. Вариабельность содержания фитиновой кислоты

в семенах льна в интервале 22,8-32,5 мкг/г свидетельствует о ее безопасном количестве [276].

Токсикологически семена льна при соблюдении соответствующих условий хранения и технологии переработки считаются нетоксичным лекарственным и пищевым сырьем. В научно-практической и медико-фармацевтической литературе отсутствует информация о выраженных побочных эффектах семян льна и их токсических свойствах [82].

Витамины, макро- и микроэлементы семян льна. Помимо рассмотренных выше физиологически важных компонентов для организма человека жизненно необходимыми являются микронутриенты: витамины и минеральные вещества. Микронутриенты относятся к незаменимым пищевым веществам. Они необходимы для нормального осуществления обмена веществ и надежного обеспечения всех жизненных функций.

Семена льна характеризуются широким набором витаминов и минералов (таблица 1.11): в них особенно много калия, фосфора и магния; в качестве природного антиоксиданта в них преобладает гамма-токоферол.

Основным жирорастворимым витамином в семенах льна является витамин Е. К группе витамина Е относятся метильные производные токола и токотриенола.

Таблица 1.11 - Содержание витаминов и макро- и микроэлементов в льняном семени [272]

| витамины | | | | минеральные вещества | | | |
|-------------------------------------|------|-----------------------------------|------|----------------------|-----|--------|------|
| водорастворимые, мг/100г | | водорастворимые, мкг/100г | | мг /100 г | | мг/ кг | |
| | | | | | 236 | Al | 3,0 |
| аскорбиновая кислота | 0,5 | фолиевая кислота | 112 | | 1 | Ba | 2,0 |
| | | | | M g | 431 | Cd | 0,25 |
| тиамин- витамин В ₁ | 0,53 | биотин | 6 | M n | 3 | Cr | 1,0 |
| рибофлавин-витамин В ₂ | 0,23 | жирорастворимые, мг/кг | | P | 622 | Co | 0,17 |
| ниацин-никотиновая к-та | 3,21 | токоферолы (витамин Е) | | K | 831 | Pb | 0,25 |
| пиридоксин-витамин В ₆ | 0,61 | α-токоферол | 0,55 | Na | 27 | Mo | 0,5 |
| пантотеновая кислота В ₃ | 0,51 | δ-токоферол | 0,45 | Zn | 5 | Ni | 1,7 |
| | | γ-токоферол | 29,7 | | | Sn | 3,0 |

Название токоферолы относится в основном к метилтоколам. Индивидуальные токоферолы, обозначаемые греческими буквами α , β , γ и δ , отличаются друг от друга количеством и положением метильных заместителей в ароматическом кольце 6-оксихромана (рисунок 1.6) [166].

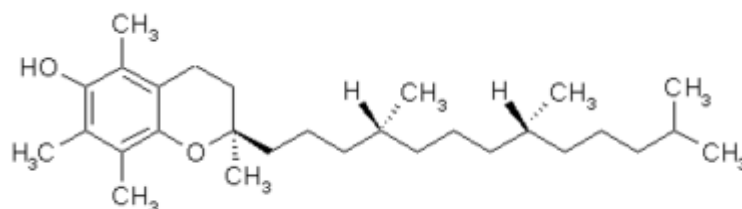


Рисунок 1.6 - (RRR)- α -токоферол — природная и наиболее биологически активная форма из всех токоферолов.

Токоферолы в масличных семенах и растительных маслах находятся в активной форме в виде смеси их гомологов. В растительных маслах γ -токоферол ведет себя как более сильный антиоксидант по сравнению с α -токоферолом [236]. Большая часть суммарного содержания токоферолов в подсолнечном масле приходится на α -токоферол (80%), в кукурузном и соевом – на γ -токоферол (60-80%) [166].

В семенах льна более 90% от суммы токоферолов приходится на γ -токоферол (таблица 1.11). Вероятно, именно благодаря наличию значительного количества этих антиоксидантов, семена льна имеют большой срок годности и длительное время сохраняют свой компонентный состав.

Среди водорастворимых витаминов в семенах льна в наибольшем количестве содержится ниацин (витамин PP). Ниацин представляет собой группу соединений, включающей никотиновую (пиридин-5-карбоновую) кислоту и никотинамид. Биологическая роль никотиновой кислоты и никотинамида определяется их участием в построении никотинамидных коферментов: никотинамидадениндинуклеотида (НАД) и никотинамидадениндинуклеотидфосфата (НАДФ). НАД и НАДФ являются коферментами многочисленных дегидрогеназ, функционирующих на начальных этапах биологического окисления разнообразных соединений: углеводов, аминокислот, жирных кислот и т.д. [166].

Семена льна являются хорошим источником фолиевой кислоты. Ее содержание в них такое же, как и в петрушке – 110 мкг/100г. Этот витамин играет важную роль в биосинтезе нуклеиновых кислот, в процессах роста и развития тканей, в процессах кроветворения и эмбрионального развития. Считается, что повышенное потребление фолиевой кислоты способствует снижению риска сердечно-сосудистых и ряда онкологических заболеваний. Поэтому, например, в США рекомендуемая норма потребления этого витамина увеличена до 400мкг в сутки. Действующая в настоящее время эта норма в РФ составляет 200 мкг для взрослого человека [166].

По составу витаминов и минералов семена льна близки к зерновым культурам [284]. Они выделяются по содержанию фосфора (650 мг/100г), магния (350-431 мг/100г), кальция (236-250 мг/100г) и, особенно, калия (560-9200 мг/кг) [357].

Приведенные данные о компонентном составе семян льна характеризуют их как полифункциональный продукт, использование которого необходимо для поддержания здоровья современного человека и являются основанием для их широкого использования при разработке функциональных продуктов питания.

1.3.4 Фракционный состав, структура и функционально-технологические свойства протеинов и полисахаридов семян льна

Содержание белков и их качественный состав даже в пределах одного сорта культуры может изменяться в зависимости от условий выращивания, переработки объекта и выделения целевого вещества. О качестве белков судят как по наличию отдельных белковых фракций (альбумины, глобулины, проламины, глютелины), так и по содержанию и соотношению заменимых и незаменимых аминокислот в общем белковом комплексе культуры. Различия в количественном соотношении фракций и индивидуальных аминокислот во многом определяют специфику

функциональных свойств белков и, следовательно, направление прикладной ориентации в получении белковой пищи [146].

Фракционный состав белков семян льна аналогичен протеинам семян масличных культур. Он включает три фракции: альбумины, глобулины и глютелины и способы их выделения основаны в первую очередь на их растворимости в различных средах. [136, 200]. В белковом комплексе семян льна, что характерно для всех масличных, отсутствуют (или находятся в следовых количествах) проламины – спирторастворимая фракция, которая составляет значительную часть белков зерновых культур и является основой клейковинных белков. Соотношение белковых фракций варьируется в зависимости от сорта, условий выращивания. Большую часть в белковом комплексе семян льна составляют водо- и солерастворимые белки: альбумины и глобулины. По данным ряда авторов [336, 337, 338, 344, 367, 368, 436] глобулины могут составлять от 56 до 73%, альбумины 20-42% от общего содержания протеинов. На глютелины (щелочерастворимые белки) приходится 10-15%. Усредненный фракционный состав белкового комплекса семян льна сортов отечественной селекции по данным ряда авторов представлен в таблице 1.12 [7, 137, 200]. Данные свидетельствуют о преобладании альбуминовой фракции.

Таблица 1.12 - Фракционный состав белка семян льна

| Культура | Содержание фракции, извлекаемой растворителями (% от общего содержания белка) | | | |
|-------------|--|---------|-----------|-----------------------|
| | H ₂ O | 7% NaCl | 0,1% NaOH | Нерастворимый остаток |
| Семена льна | 43,6 | 21,4 | 13,7 | 21,3 |

Глобулины семян льна обладают более высокой молекулярной массой (252—298 kDa) и структурированы 11-12S. Альбумины представляют собой 1,6-2S и имеют значительно более низкую молекулярную массу: 16-17 kDa. Водорастворимая фракция является наиболее гетерогенной. В ее состав входят легкоподвижные компоненты с небольшой молекулярной массой. Отмечаются

значительные различия во вторичной структуре у белков с малой молекулярной массой, для которых характерна более упорядоченная структура (α -спираль и β -структура) в противоположность высокоаперидичной структуре белков с высокой молекулярной массой [336].

В настоящее время определена первичная аминокислотная последовательность солерастворимых белков семян льна, которая содержит 168-169 аминокислотных остатков [426]. Однако по сравнению с протеинами сои, маиса, молока аминокислотные последовательности льняных протеинов недостаточно изучены для глубокого понимания их функциональных свойств и поведения в пищевых системах.

Каждая белковая фракция имеет определенный аминокислотный состав. Наиболее полноценной по своему аминокислотному составу считается альбуминовая фракция, имеющая в своем составе самое высокое содержание лизина (лимитирующей аминокислоты практически для всех растительных белков) [135, 136, 218]. В семенах льна содержание лизина в водорастворимой фракции на 10% выше, чем в солерастворимой (таблица 1.13) [7].

Альбумины считаются хорошо усвояемой и наиболее питательной фракцией, прежде всего, за счет более высокого содержания лизина по сравнению с другими фракциями. Преобладающая доля водорастворимой фракции в общем белковом балансе семян льна свидетельствует о высокой питательной ценности льняного белка.

Аминокислотный состав глобулинов семян льна характеризуется высоким уровнем сульфаминокислот (цистеина и метионина) что повышает уровень этих аминокислот в общем протеиновом комплексе этой культуры [366, 393]. В частности, препараты или пищевые добавки с высоким содержанием аргинина и цистеина используют для улучшения здоровья новорожденных с низкой массой тела [314, 343].

Таблица 1.13 - Аминокислотный состав белковых фракций масличного льна
(в моль - %)

| Аминокислота | Водораствори мые белки | Солерастворимые белки | Щелочерастворимые белки |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Незаменимые | | | |
| Изолейцин | 3,7 | 4,3 | 4,0 |
| Лейцин | 6,4 | 6,6 | 7,0 |
| Лизин | 3,3 | 2,9 | 3,0 |
| Метионин | 1,6 | 1,0 | 1,2 |
| Фенилаланин+ | 7,1 | 7,9 | 5,9 |
| Тирозин | | | |
| треонин | 4,9 | 5,0 | 7,0 |
| валин | 7,0 | 5,1 | 5,8 |
| Заменимые | | | |
| аргинин | 8,5 | 8,4 | 5,9 |
| глицин | 10,2 | 10,6 | 13,2 |
| аланин | 8,1 | 8,5 | 8,0 |
| серин | 7,1 | 6,9 | 7,9 |
| аспарагиновая кислота | 11,5 | 12,3 | 9,4 |
| глутаминовая кислота | 20,6 | 18,4 | 18,3 |

Исходя из анализа аминокислотного состава льняного белка, некоторые авторы считают, что его можно рекомендовать для использования в препаратах для повышения массы тела новорожденных и поддержки сердечно-сосудистой системы человека [314, 343, 366].

Растворимость протеинов семян льна в большой степени зависит от pH среды: максимальная – при 9-10 pH, минимальная (изоэлектрическая точка) соответствует 4 – 4,5 pH. Кривые растворимости, составленные по данным авторов [314, 348] представлены на рисунке 1.7. Аналогичная тенденция повышения растворимости белка при повышении pH среды наблюдалась и для конопляного белка, однако для него максимальная растворимость была выше – 90% [416]. Как показали авторы [317] на примере льняного белкового изолята – льняные белки имеют более низкую растворимость, но лучшую термическую стабильность по сравнению с другими масличными белками.

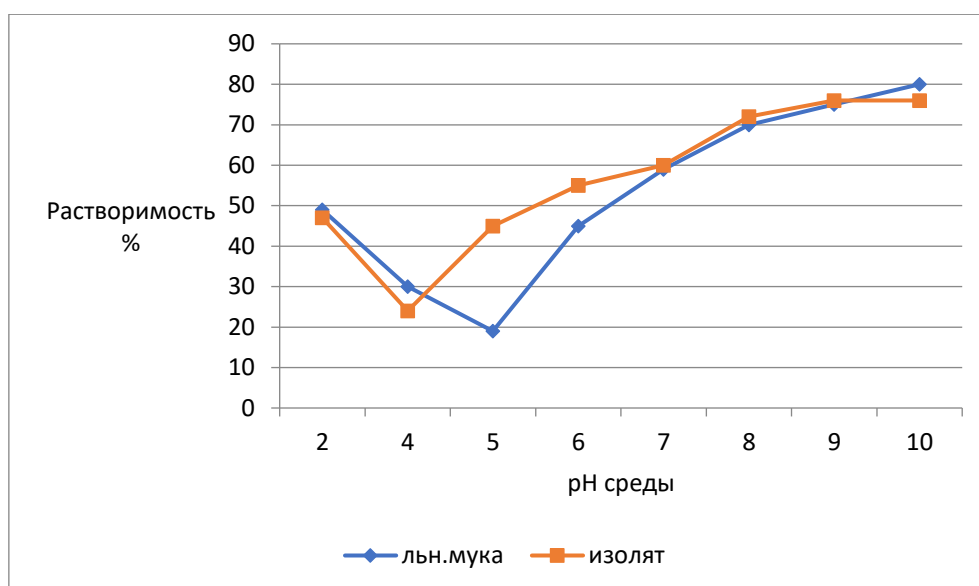


Рисунок 1.7 – Растворимость льняного белка

Важным показателем для сохранения нативных свойств белка при переработке является температура денатурации. В таблице 1.14 представлены температуры денатурации некоторых растительных и животных белков.

Таблица 1. 14 – Температура денатурации белков различных культур

| Источник выделения белка | Температура денатурации, °С | Источник данных |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Семена льна | 105,05 | [311] |
| Семена льна | 106.4 | [282] |
| Бразильский орех | 110 | [320] |
| Соя | 96 | [293] |
| Конопля | 95 | [412] |
| Сыворотка | 65 | [289] |
| Желатин | 118 | [374] |

Температура денатурации льняного белка выше 100°C, что выше этого показателя для других растительных белков, в частности соевого и конопляного. Различия в температуре денатурации белков одной культуры, например, льняного, полученного разными исследователями (таблица 1.14), можно отнести к различным способам экстракции, чистоте белковых продуктов, содержанию влаги, наличию небелковых компонентов и пр.

Функциональные свойства льняного белка, такие как связывание воды, абсорбция масла, эмульгирующая способность сравнимы с аналогичными свойствами широко используемого соевого белка [314, 428].

Эти функциональные свойства улучшаются в присутствии полисахаридов слизи семян льна, что можно объяснить синергетическим взаимодействием льняных белков и полисахаридов [328, 431]. Полисахариды семян льна присутствуют в значительных количествах в таких белковых продуктах, как мука, концентрат. Так, льняной белковый концентрат (содержание белка 66%) имел следующие функциональные свойства [348]:

ВУС – 253,5% Стабильность пены – 83,33%

ЖУС – 150,25% Эмульгирующая способность – 84,76 мл/г

С учетом функциональных свойств такой белковый концентрат был рекомендован для использования в качестве ингредиента в мясных фаршах и мороженом.

Также полуобезжиренная льняная мука улучшает стабильность пены и водопоглотительную способность продуктов [301]. Те же авторы сообщили, что введение обжаренной полуобезжиренной льняной муки до 16% не ухудшает органолептические свойства хлебобулочных изделий, в частности индийского хлеба (Indian bread).

Несмотря на широкие исследования и достигнутый в последние 20 лет прогресс в области выделения белков из растительных культур, получение льняных белков в промышленных масштабах так и осталось нереализованным. Тем не менее благодаря высоким функционально-технологическим свойствам, профилактическому действию, оказываемому на различные органы человека, биологической ценности не ослабевает внимание исследователей и технологов к льняному белку и получению белковых продуктов из семян льна.

Полисахариды в растительных источниках обычно представляют совокупность нескольких фракций, различающихся по молекулярной массе, наличием в их составе различных функциональных групп. Поэтому выделяемые растительные полисахариды характеризуются широким молекулярно-массовым

распределением, различным соотношением фракций и их структурой, что влияет на их функционально-технологические свойства.

Полисахариды льняной слизи представляют основную часть растворимых углеводов семян льна. Они легко растворяются в холодной воде, образуют вязкие растворы при небольших концентрациях (1-3%). Согласно современным представлениям они представляют собой смесь высокомолекулярных полисахаридов [436].

Качественный и количественный состав полисахаридов слизей зависит от сортовых особенностей и климатических условий [194]. В состав моноз полисахаридов входят ксилоза, глюкоза, галактоза, рамноза, фукоза и галактуроновая кислота. Количественное их соотношение может варьировать в зависимости от сорта, условий выращивания [253, 316]. Установлено, что полисахариды льняных слизей содержат две фракции: нейтральную и кислую [316, 435]. На диаграмме рисунка 1.8 представлено общее содержание моноз полисахаридов и фракций: нейтральной и кислой.

Нейтральная фракция практически не содержит, галактуроновою кислоту, ксилоза – основа этой фракции. В кислой фракции преобладает галактуроновая кислота и обнаружены следы ксилозы. Относительное содержание нейтральной фракции в составе полисахаридов слизи по определению авторов [317] составляло 75%. Сui с сотр. [252] определили, что нейтральная фракция составляла около 32% от экстрагированной слизи. Такая вариабельность объясняется и сортовыми различиями, и условиями выделения полисахаридов льняной слизи: температурой, ионной силой, рН растворов, продолжительности экстракции.

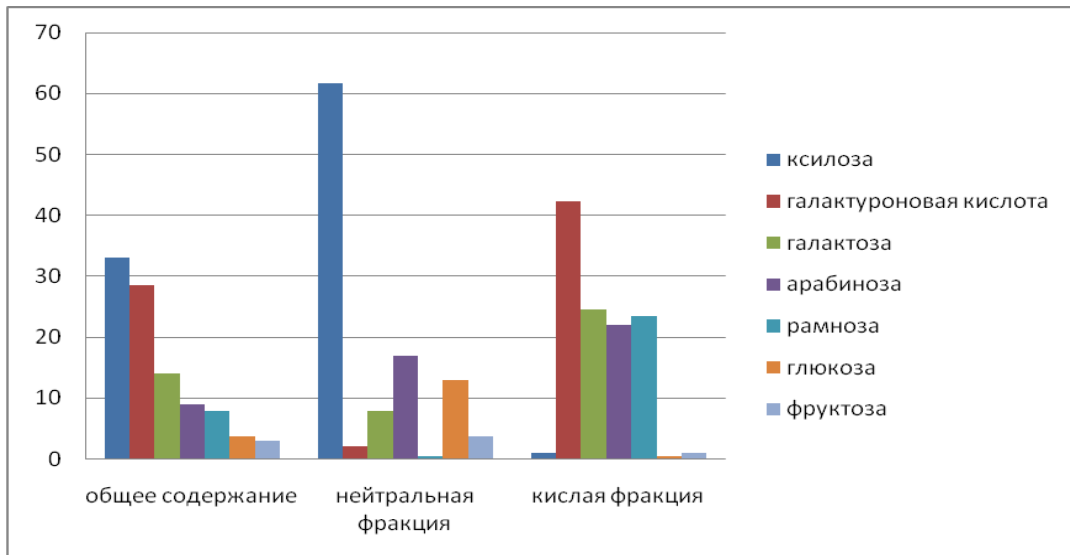


Рисунок 1.8 – Состав полисахаридов слизи семян льна, в % (диаграмма составлена по данным источника [435]).

Методами различных видов гидролиза авторами [231, 264] были определены структуры основных полисахаридов этих фракций, представленные на рисунке 1.9.

Нейтральные полисахариды или арабиноксиланы состоят из остатков ксилана, соединенных $\beta(1 \rightarrow 4)$ связями в основной цепи, и в основном L-арабинозы в боковых цепях.

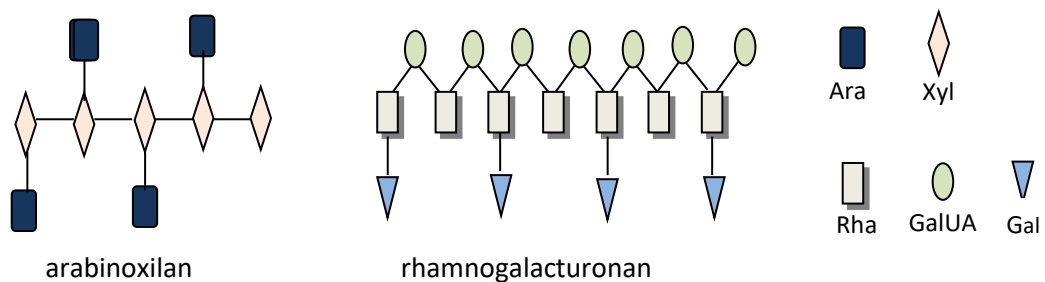


Рисунок 1.9 - Структура нейтральной и кислой фракций полисахаридов льняных слизей, содержащих следующие монозы: Ara – L-арабиноза, Xyl – D-ксилоза, Rha – L-рамноза, GalUA – галактурановая кислота, Gal – D-галактоза

Кислая фракция содержит L-рамнозу, D-галактозу, D-галактурановую кислоту. Опорными скелетными полисахаридами кислой фракции считаются полисахарид из остатков рамнозы, соединенных в положении $\alpha(1 \rightarrow 2)$, и

полисахарид из остатков галактурановой кислоты. Боковые цепи образованы большей частью галактозой.

В составе полисахаридов льняной слизи содержатся три высокомолекулярных полисахарида [436]:

- 75,00% (от общего содержания слизей) наиболее вязкого нейтрального полисахарида с молярной массой $1,2 \times 10^6$ г/моль;

- 3,75% кислого полисахарида AF1 с молярной массой $6,5 \times 10^5$ г/моль;

- 21,55% кислого полисахарида AF2 с молярной массой $1,7 \times 10^4$ г/моль.

Нейтральная фракция содержит только один полимер с высоким молекулярным весом и около 2% урановой кислоты. Кислая фракция состоит в основном из полимеров с различной молекулярной массой, ассоциированных с белком не ковалентными связями [316, 435].

Большое значение для функциональных свойств полисахаридов семян льна, используемых в качестве гидроколлоидов, имеет содержание в них протеина. В зависимости от условий выделения количество белка может варьироваться в интервале 5-60% [407].

Свойства полисахаридного комплекса льняной слизи - реологическое поведение в растворах, функциональные свойства, в большой степени определяются именно соотношением нейтральной и кислой фракции, а также величиной содержания белка.

Полисахариды семян льна характеризуются относительно низкой вязкостью. Так, по данным [350] при концентрации 0,3% вязкость льняной слизи составляла половину вязкости гуаровой камеди и камеди рожкового дерева. Ряд авторов [254, 350] показали, что полисахариды льняной слизи и ее нейтральная фракция демонстрировали псевдопластичное поведение при концентрациях выше 0,5 и 1,0%, соответственно; в то время как растворы кислой фракции соответствовали Ньютонскому типу при всех исследованных концентрациях. Максимальную вязкость они показывали в интервале pH 6-8.

Вязкость водных растворов полисахаридов семян льна определяется концентрацией, pH, ионной силой и температурой [245]. При изменении ионной

силы раствора, в присутствии электролитов, то есть в солевых растворах их вязкость снижалась по сравнению с водными [327].

Реологические характеристики свидетельствуют не только о величине молекулярного веса, но и конформации полимеров. Считается, что полисахариды семян льна относятся к промежуточным, между гибкими и полугибкими, полимерам. Значения константы Хаггинса (Kx) для льняных слизей и их фракций характерны для гибких макромолекул [316]. Реологические показатели полисахаридов льняной слизи являются результатом синергетического взаимодействия нейтральной и кислой фракций.

Функциональные свойства полисахаридных продуктов из льняной слизи зависят от способа сушки продукта после экстракции. При получении полисахаридного продукта из семян льна в работе [433] были использованы: лиофильная сушка, распылительная сушка, сушка при 80°C, сушка при 105°C и переосаждение в этиловом спирте. Наибольшей вязкостью, как было показано, обладал продукт после высаживания в этиловом спирте. Продукт после распылительной сушки имел наиболее светлый цвет. Продукт высушенный при 105°C характеризовался лучшей пенообразующей способностью; при 80°C – высокой прочностью геля.

Для полисахаридов семян льна характерна высокая водоудерживающая способность, которая сравнима с аналогичным показателем гуаровой камеди [407, 414].

Авторы [238], на основе изучения таких свойств гидроколлоидов семян льна как растворимость, пеноустойчивость, вязкость считают, что их можно использовать в качестве аналога гуммиарабика в пищевых технологиях.

Следует отметить, что благодаря наличию слизеподобных полисахаридов в семенах льна и льняной муке, их добавки оказывают положительное влияние на качество хлебобулочных и мучных кондитерских изделий; они приобретают все большую популярность в хлебопечении [13, 48, 93].

Гидроколлоиды семян льна обладают хорошими вязкими, эмульгирующими и стабилизирующими свойствами. Подобно камедям, полисахариды льняной слизи

могут быть использованы в качестве загустителя, стабилизатора и влагоудерживающего агента. Это представляет интерес для создания мучных кондитерских изделий специализированного назначения. Они дают возможность создать заданные реологические свойства, например для бисквитного теста [59].

Тем не менее, в качестве монокомпонента гидроколлоиды семян льна используются довольно редко из-за недостаточной информации об их функциональных свойствах, взаимодействии с пищевыми ингредиентами.

1.3.5 Практическое использование семян льна и продуктов их переработки

Семена льна можно использовать в целом, измельченном виде, в виде муки для создания различных видов продуктов. Разнообразные виды продуктов с использованием льняных ингредиентов представлены в таблицах 1.15 – 1.17.

Широко используются льняные ингредиенты в виде семян льна, льняной муки в рецептурах хлебобулочных (ХБИ) и мучных кондитерских изделий (МКИ) (таблица 1.15).

Таблица 1.15 - Семена льна и продукты их переработки в мучных изделиях

| Вид льняного ингредиента | Название изделия | Количество ингредиента, % | Источник |
|----------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|
| Измельченные семена льна | Хлеб | 23 | [229] |
| | Дрожжевой хлеб | 15–25 | [352] |
| | Маффины | 7,3-15,5 | [379] |
| Льняное масло | Бисквит | 5-50 | [294], [380] |
| Льняная мука | Хлеб | 5–15 | [232] |
| | | 5-30 | [248] |
| | Бисквит | 5–40 | [318], [333] |
| | Печенье | 1–18 | [371], [381] |
| | Кексы | 5–45 | [239], [319], [356] |
| | Маффины | 2-15 | [95], [204], [401], |
| Обжаренная льняная мука | Хлеб | 5–15 | [347] |
| | Сдобный хлеб | 10–20 | [227] |
| | Пицца | 10–20 | [227] |
| | Печенье | 5–30 | [276], [378] |
| | Маффины | 10-40 | [413] |
| Полисахаридный экстракт (настой) | Китайский хлеб на пару | 1 | [291] |
| | Хлеб | 10 | [13] |
| Сухой полисахаридный экстракт | Маффины | 0,1 | [205] |

Введение этих компонентов способствует повышению пищевой и биологической ценности изделий, их органолептических свойств. При этом содержание семян льна и льняной муки в рецептурах варьируется в широком интервале; оптимальным считается содержание 10-20% [205, 227, 352].

При использовании льняной муки, в частности, в рецептурах маффинов некоторые авторы исключили яичные продукты, что не повлияло на органолептические свойства продукта [95]. По оценке авторов [227] при введении семян льна в хлебе увеличивается содержание белка на 15%.

Молоко и молочные продукты являются оптимальной средой для биологически активных веществ. С целью повышения функциональности молочных продуктов использовали льняное масло и концентрат лигнанов из семян льна [283, 284, 302]. Льняные ингредиенты вводили в рецептуру мороженого, сыра, йогурта, сывороточных продуктов, масла (таблица 1.16).

Таблица 1.16 - Молочные продукты с различным содержанием льняных ингредиентов

| Вид льняного ингредиента | Название продукта | Количество ингредиента | Способ получения продукта | Источник |
|--------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------|----------|
| Льняное масло | Индийский йогурт | 1-3% | Ферментация | [284] |
| | Мороженное | 3-12% | Замораживание | [283] |
| Концентрат лигнанов | Сыр | 1г/10л | Пастеризация и ферментация | [302] |
| | Йогурт | 100 мг | Ферментация | [302] |
| | Молоко | 1% | Тепловая обработка | [302] |
| | Сывороточные напитки | 10мг/100мл | Пастеризация | [302] |
| Льняная суспензия | Масло | 0,8-1,6% | Суспензирование | [304] |

Включение до 12% льняного масла при получении мороженого не изменяло структурных и вкусовых характеристик [283]. Биологически активная добавка лигнана (СДГ) из семян льна, добавленная в молоко при получении различных

молочных продуктов: сыра, йогурта, была стабильна в условиях ферментации и высокотемпературной пастеризации [302].

Льняные семена обладают уникальным приятным ореховым вкусом и запахом, которые дополняют сенсорные свойства продуктов. Масло с добавкой семян льна в виде суспензии имело чистый сливочный вкус, запах добавленных семян и хорошую пластичность [304].

Популярные в настоящее время экструзионные продукты также часто обогащаются функциональными ингредиентами, в том числе семенами льна и льняной мукой (таблица 1.17). Экструзия – идеальный технологический процесс для обогащения продуктов белками, пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами и другими добавками, что позволяет создавать продукты с регулируемой пищевой, биологической и энергетической ценностью.

Таблица 1.17 - Различные виды продуктов, обогащенных семенами льна и льняной мукой

| Продукт | Ингредиент | Количество ингредиента, % | Источник |
|---|--|---------------------------|-----------------------|
| Экструзионные продукты: Сухие завтраки Макаронные изделия | Льняная мука | 10-12 | [115], [242] |
| | Льняная мука, измельченные семена льна | 5-20 | [330], [342] [409] |
| Снэки | Полисахариды слизи | 3,0 | [321] |
| | Льняная мука | 1-20 | [353], [422] |
| Пасты, соусы | Льняная мука | 3-6 | [119] |
| | Обжаренные измельченные семена льна | 25 | [227] |
| Колбасные изделия | Льняное масло | 3,3 | [234] |
| Чипсы | Льняная мука | 10-20 | [437] |

Для формирования композитных смесей используют различные группы пищевых продуктов: муку различных злаков и круп, овощи и фрукты сублимированной сушки, сухие молочные продукты, вкусоароматические вещества. Добавка в зерновую смесь льняных продуктов (семян, муки) в

количестве 12%, как показали авторы [115] является оптимальной, позволяет повысить биологическую ценность и органолептические свойства изделий.

Снеки с льняной мукой обладали однородной пористой структурой, высокой растворимостью и, соответственно, высокой усвояемостью, сохраняя при этом важное комфортное потребительское свойство – хрусткость при употреблении таких продуктов [353]. Снеки, приготовленные из кукурузной и льняной муки, показали 7-кратное увеличение содержания пищевых волокон, 2-кратное увеличение содержания протеина и не отличались по своим органолептическим свойствам от производимых в промышленности кукурузных снеков [422].

Макаронные изделия с льняной мукой и измельченными семенами льна показали стабильность α -линоленовой кислоты в результате экструзионной обработки. Однако для повышения прочности структуры этого вида изделий авторы рекомендовали использовать льняную муку в смеси с манной крупой из твердых сортов пшеницы – семолиной [342, 409].

Использование льняной муки в качестве эмульгатора при производстве соусов позволяет обеспечить требуемую вязкость продукта, хорошую консистенцию, отличную стойкость эмульсии, устойчивость продукта при хранении, экономичность технологического процесса, приготовление продуктов любой жирности [119].

Определенное повышение пищевой ценности сырокопченых колбас было достигнуто путем замены части (25%) свиного жира на льняное масло [234]. При этом соотношение полиненасыщенных жирных кислот ω -6: ω -3, как определили эти авторы, удалось снизить с 14,1 до 1,7-2,1.

В работе [437] получали пшеничные чипсы с добавлением льняной муки. Такие чипсы характеризовались повышенным содержанием белка и полиненасыщенных жирных кислот класса ω -3. Наилучшими органолептическими свойствами обладали чипсы с содержанием льняной муки 10%.

Удовлетворительные результаты при использовании семян льна и льняной муки в пищевых технологиях можно объяснить функционально-технологическими

свойствами их ингредиентов: некрахмальных полисахаридов слизи и протеинов (таблица 1.18).

Функциональные свойства льняного белка, такие как связывание воды, абсорбция масла, эмульгирующая способность сравнимы с аналогичными свойствами широко используемого соевого белка [314].

Таблица 1.18 - Функциональные ингредиенты семян льна: полисахариды слизи и протеины, в пищевых продуктах

| Функциональный ингредиент | Использование/свойства | Источник |
|---------------------------|--|----------|
| Полисахариды слизи | Эмульгатор и стабилизатор для соусов, колбас, мясных эмульсий, салатных заправок | [412] |
| | Влагоудерживающий агент | [333] |
| | Структурообразователь | [320] |
| | Функциональный пищевой ингредиент (взаимодействие полисахаридов с протеинами регулирует уровень глюкозы в крови) | [407] |
| Протеины | Стабилизатор, эмульгатор для мороженого, соусов, мясных эмульсий | [348] |
| | Противогрибковое действие | [298] |
| | Обеспечение вязкоупругой текстуры экструдированных макаронных изделий, сухих завтраков и снеков | [439] |
| | Повышение пищевой ценности безглютеновых продуктов | [275] |
| | Заменитель яиц и желатина в хлебобулочных изделиях и мороженом | [401] |
| | Функциональный пищевой ингредиент | [355] |

Высокие технологические свойства льняной муки можно объяснить синергетическим взаимодействием льняных белков и полисахаридов [328, 433]. Льняная мука улучшает стабильность пены и водопоглотительную способность продуктов; введение обжаренной льняной муки до 16% не ухудшало органолептические свойства ХБИ, в частности индийского хлеба (Indian bread) [301].

Заключение по главе 1

Анализ действующей нормативной базы, а также современного рынка продукции здорового питания свидетельствует о значимости этого вида продуктов, как одного из факторов, формирующих здоровье нации, а также о необходимости расширения их ассортимента, вызванной потребительскими ожиданиями.

Функциональное питание как составная часть здорового питания должно быть направлено на нормализацию физиологических функций организма человека и поддержание должного гомеостаза. Анализ системного подхода к разработке функциональных изделий позволил дополнить критерии выбора сырья для продуктов здорового питания: помимо пищевой и энергетической ценности сырье или его ингредиенты должны обладать терапевтическим потенциалом, то есть оказывать позитивное физиологическое воздействие на организм человека.

Проведенный анализ научной информации показал, что:

- современные эко-инновационные технологии обладают высоким потенциалом при извлечении белка и полисахаридов из растительного, в том числе масличного сырья и сохранении их нативных функциональных свойств: ультразвуковая экстракция, микроволновая, водная экстракция при низком давлении, экстракция при высоком давлении, импульсная электрическая и др. Однако они используются, в основном, в исследовательской практике. Их широкое внедрение в производство сдерживает во многих случаях стоимость и сложность оборудования. При этом традиционные технологии не утратили свою значимость для малых предприятий;

- семена льна являются источником биологически активных веществ, необходимых для функционального питания и поддержания активного здоровья человека. Они богаты эссенциальными полиненасыщенными жирными кислотами, пищевыми волокнами, белком, полипептидами и лигнанами, относящимся к классу фитоэстрогенов, которые поддерживают важнейшие физиологические функции организма человека;

- белковый комплекс семян льна характеризуется полноценным аминокислотным составом, обладает нутрицевтическим и терапевтическим потенциалом,

- полисахариды семян льна, сосредоточенные в семенной оболочке, относятся к растворимым пищевым волокнам, обладают пребиотическим действием,

- синергетическое действие протеинов и полисахаридов семян льна повышает функциональные свойства пищевых систем;

- семена льна и продукты их переработки используются для повышения пищевой ценности хлебобулочных, мучных кондитерских, молочных, мясных, экструдированных и прочих продуктов; при их введении улучшаются органолептические и повышаются физико-химические свойства продуктов.

Множество научных исследований семян льна являются обоснованным подтверждением необходимости глубокой переработки и широкого внедрения этой многофункциональной культуры в пищевые технологии 21 века.

Экспериментальная часть

Анализ научно-технической литературы позволил оценить достоинства семян льна как биологически активного сырья для создания продуктов здорового питания, полезность их свойств и свойств их пищевых ингредиентов, оценить перспективы глубокой переработки семян льна и их использования в пищевых технологиях. Однако разнообразие биохимического состава, особенности структурных взаимосвязей пищевых ингредиентов требуют системного научно-обоснованного подхода к глубокой переработке семян льна и использованию получаемых продуктов. Это возможно при проведении исследований процессов выделения пищевых ингредиентов из льняного сырья, изучения их состава и свойств, создания и изучения свойств модельных изделий с их использованием.

Целью настоящей работы 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 поставленной цели были поставлены следующие основные **задачи:**

- 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;
- 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.

- 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;

- 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;

- 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;

- 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;

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

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

Структурная схема исследований представлена на рисунке 1.10.

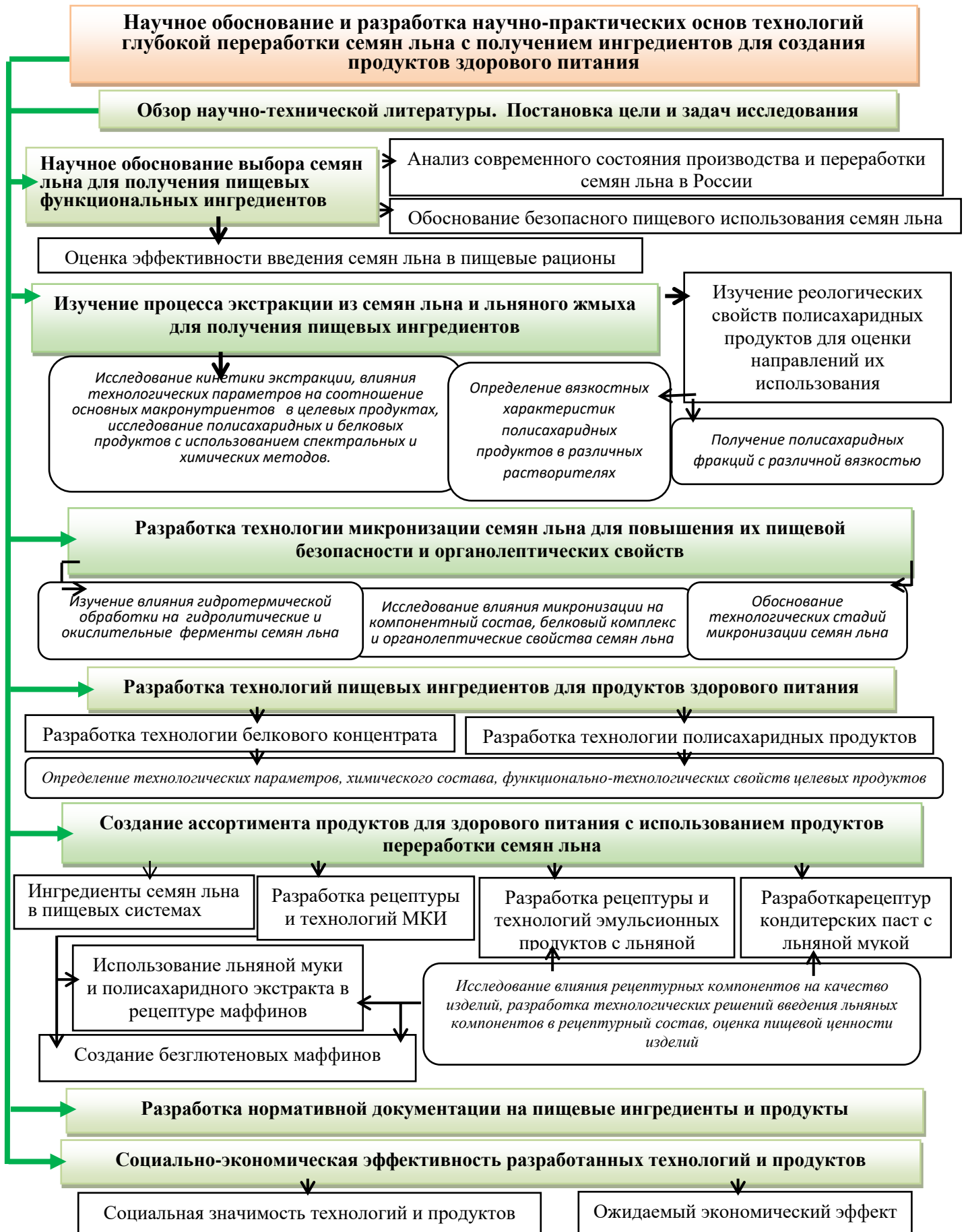


Рисунок 1.10 – Структурная схема исследований

Глава 2 Объекты и методы исследований

2.1 Объекты исследования

В соответствии с целью и задачами работы в качестве объектов исследований были использованы семена льна отечественных сортов и промышленного производства, льняной жмых промышленного производства; полисахаридные комплексы и сухие полисахаридные экстракты, белковые продукты, полученные в лабораторных условиях при варьировании технологических параметров; при разработке мучных изделий, в том числе безглютеновых, а также соусов эмульсионного типа, кондитерских льняных паст – льняная мука промышленного производства, семена льна, полисахаридные комплексы, полученные по разработанной технологии и стандартные ингредиенты, приобретенные в розничной сети, соответствующие нормативной или технической документации, а по показателям безопасности – требованиям ТР ТС 021/2011 или ТР ТС 029/2012.

Использовали семена льна масличного и льна долгунца 30 сортов, в том числе: Ручеек, Омега, Северный, ЛМ 98, Ленок, Цезарь, Дипломат, Алексим; также семена льна промышленного производства: масличного ГОСТ 10582, льна-долгунца ГОСТ 11542. Семенной материал был получен из структурных подразделений Федерального научного центра лубяных культур (ФНЦ ЛК). Льняной жмых промышленного производства, полученный из семян льна, выращенных в Пензенской, Костромской областях и Ставропольском крае при выработке льняного масла методом «холодного» прессования на предприятии ООО «Эколен» (г. Тверь), соответствовал ГОСТ 10974.

Характеристика семян льна и льняного жмыха промышленного производства представлена в таблице 2.1.

Объектами исследований являлись также образцы готовых изделий, полученных в лабораторных и промышленных условиях.

Таблица 2.1 – Характеристика объектов исследования

| Образец | Массовая доля белка, % | Массовая доля жира, % | Массовая доля влаги, % | Зольность, % |
|--|------------------------|-----------------------|------------------------|--------------|
| Лен-долгунец промышленного производства | 22,13 - 23,22 | 33,21 – 34,82 | 6,73 – 7,7 | 4,35 - 4,75 |
| Лен масличный промышленного производства | 18,1 - 22,33 | 42,84 – 43,37 | 5,62 - 5,78 | 4,95 - 5,25 |
| Жмых льняной промышленного производства | 25,14 - 28,53 | 9,15 – 12,31 | 6,53 - 7,23 | 3,32 – 4,14 |

2.2 Дополнительное сырье, применявшееся в работе

В работе использовали промышленные пробы муки пшеничной, льняной, кукурузной, кукурузный крахмал, соль, сахар, масло льняное, масло подсолнечное, соответствующие нормативной документации, представленной в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Дополнительное сырье, применявшееся для исследований

| Наименование дополнительного сырья | Нормативная и техническая документация |
|--|--|
| Мука пшеничная хлебопекарная сорта | ГОСТ Р 52189-2003 |
| Мука льняная | ТУ 9293-010-89751414-10 |
| Мука кукурузная | ТУ 9293-002-43175543-03 |
| Крахмал кукурузный высший сорт | ГОСТ Р 51985-2002 |
| Масло льняное пищевое нерафинированное | ТУ 9141-002-17385524-09 |
| Масло подсолнечное рафинированное | ГОСТ 1129-2013 |
| Сахар белый | ГОСТ 33222-2015 |
| Соль пищевая | ГОСТ Р 51574-2018 |
| Яйцо куриное | ГОСТ 31654-2012 |
| Молоко | ГОСТ 31450-2013 |
| Сода пищевая | ГОСТ 32802-2014 |
| Кислота лимонная | ГОСТ 31726-2012 |

Все пробы рецептурных ингредиентов соответствовали характеристикам, данным фирмой-изготовителем по показателям цвета, вкуса и влажности, не содержали добавок и посторонних примесей.

2.3 Методы исследований

В работе использовали общепринятые и специальные методы исследования сырья и целевых продуктов, в том числе химические, физико-химические, физические и органолептические.

2.3.1 Стандартные методы исследований

Для исследования физико-химических характеристик сырья и опытных образцов, полученных в лаборатории, использовали стандартные методики анализов:

- определение содержания протеина по ГОСТ 13496,
- определение содержания жира по ГОСТ 29033-91,
- определение содержания влаги по ГОСТ 5900,
- определение сухого остатка по ГОСТ 31640,
- определение зольности по ГОСТ 15113.8-77,
- определение перекисного числа – по ГОСТ 31485-2012
- определение кислотного числа по ГОСТ 13496.18
- определение щелочности по ГОСТ 5898-87,
- определение органолептических показателей по ГОСТ 5897-90,
- определение свободной и связанной синильной кислоты по ГОСТ 13979.8-69.

Определение общего азота и белка в жидких средах проводили методом Кьельдаля, модифицированного Ермаковым. Метод основан на минерализации навески или определенного объема жидкости в концентрированной серной кислоте с селеном и последующем учете азотистых веществ по продукту их распада - аммиаку. В процессе минерализации углерод окисляется до CO_2 , водород до H_2O , азот образует аммиак. Аммиак отгоняли в раствор борной кислоты и титровали его

0,1N раствором серной кислоты. Объем кислоты, пошедшей на титрование, умножали на титр по азоту и определяли содержание азота в пробе. По количеству азота вычисляли содержание белка, используя коэффициент пересчета 6,25. Анализ выполняли по методике [92].

2.3.2 Специальные методы исследований

Определение фракционного состава белков семян льна и льняного жмыха

Фракционный состав белков семян льна и льняного жмыха определяли в соответствии с методикой [92], с использованием H_2O , 7% NaCl, 0,1N NaOH. Схема фракционирования белков семян льна и льняного жмыха представлена на рисунке 2.1.

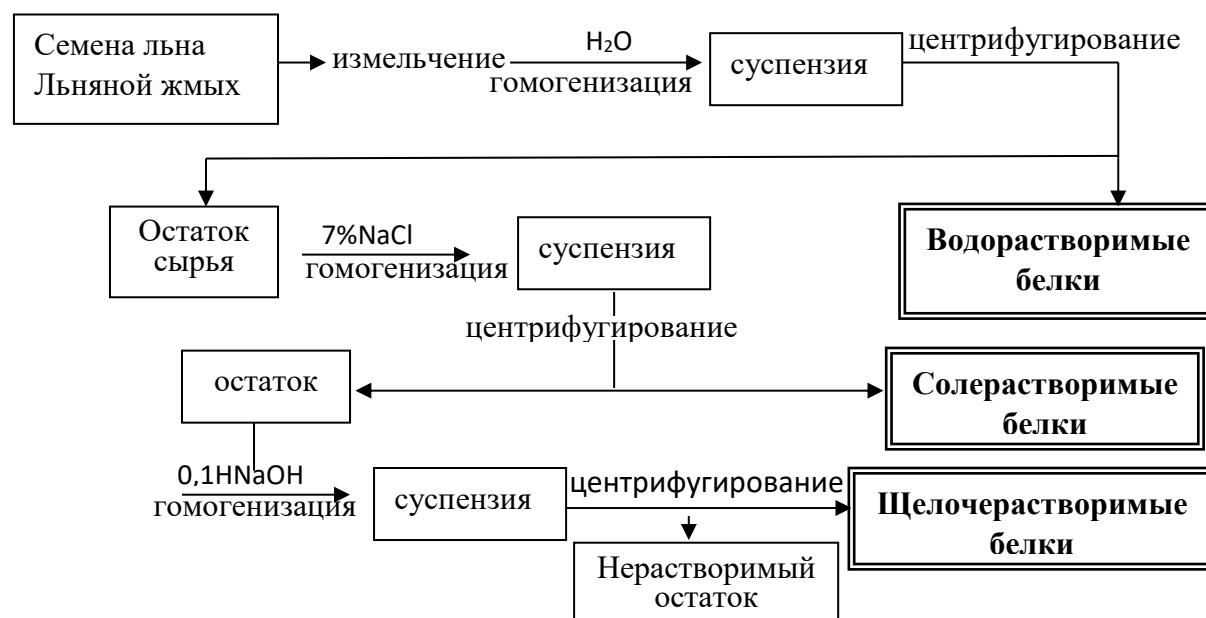


Рисунок 2.1 - Схема проведения фракционирования белков семян льна и льняного жмыха

Навески семян льна и льняного жмыха измельчали в лабораторной электромельнице ЭМ-3А УХЛ 42. Измельченный образец смешивали с водой (50 см³) и гомогенизировали смесь в гомогенизаторе MPW-302 (Польша). Полученную суспензию разделяли на центрифуге при 3000 об/мин в течение 20 мин. Экстракт сливали в мерные колбы. К полученным осадкам приливали 7% раствор NaCl (50 см³), гомогенизировали, суспензию разделяли на центрифуге при 3000 об/мин в

течение 20 мин. Экстракт сливали в мерные колбы. Остаток после удаления солевого экстракта промывали дистиллированной водой (20 см³). Промывную воду отделяли центрифугированием и объединяли с солевым экстрактом. К осадку добавляли 50 см³ 0,1Н NaOH, смесь гомогенизировали, полученную суспензию разделяли на центрифуге при 3000 об/мин в течение 20 мин. Экстракт сливали в мерные колбы. Содержание белка в полученных экстрактах определяли по модифицированному методу Къельдаля для жидких сред [92].

Определение активности липазы и липоксигеназы проводили в соответствии с методиками, модифицированными Ермаковым [92].

Суммарное содержание полисахаридов и их высокомолекулярной фракции в семенах льна определяли по методике, основанной на количественном определении водорастворимых полисахаридов методом гравиметрии при экстракции суммы полисахаридов из сырья водой с последующим осаждением их этиловым спиртом (96%) [372].

Определение вязкостных характеристик растворов полисахаридных продуктов из семян льна [24].

Кинематическую и динамическую вязкость экстрактов льняных слизей и 0,2% растворов полисахаридных комплексов определяли по ГОСТ 33 с использованием вискозиметра ВПЖ-2 (d-3,55 мм, константа вискозиметра – 10, 861 мм²/с²) и вискозиметром Уббелюде с диаметром 1,16 мм и константой 0,1 мм²/с².

Кинематическую вязкость ν , мм²/с, рассчитывали по формуле:

$$\nu = Ct, \quad (2.1)$$

где C - калибровочная постоянная используемого вискозиметра (константа вискозиметра), мм²/с², 10,861 мм²/с²;

t - среднее арифметическое значение времени истечения, с.

Динамическую вязкость η , МПа·с, рассчитывали на основании кинематической вязкости по формуле

$$\eta = \nu\rho \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

где ρ - плотность при той же температуре, при которой определялась кинематическая вязкость, кг/м³;

ν - кинематическая вязкость, мм²/с.

Кинематическую и динамическую вязкость определяли также для 0,2%-ных растворов полисахаридных комплексов. В качестве растворителей использовали дистиллированную воду и 0,1 М раствор NaCl.

Определение относительной, удельной, приведенной и характеристической вязкости полисахаридов семян льна.

Относительная вязкость $\eta_{отн}$ – отношение вязкости раствора к вязкости растворителя:

$$\eta_{отн} = \eta/\eta_0, \quad (2.3)$$

Удельная вязкость $\eta_{уд}$ показывает, какая часть вязкости раствора обусловлена присутствием в нем растворенного вещества:

$$\eta_{уд} = (\eta - \eta_0)/\eta_0 = \frac{\eta}{\eta_0} - 1 = \eta_{отн} - 1, \quad (2.4)$$

где η – вязкость раствора, η_0 – вязкость растворителя

Приведенная вязкость $\eta_{прив}$ – это удельная вязкость, отнесенная к единице концентрации раствора:

$$\eta_{прив} = \eta_{уд}/C, \quad (2.5)$$

где C – концентрация раствора

Величина $\eta_{прив}$ не должна зависеть от концентрации раствора. Однако эта закономерность наблюдается только для разбавленных растворов.

Для растворов полимеров вязкость является функцией молекулярных масс, размеров и гибкости макромолекул. Для определения структурных характеристик полимеров, *приведенную вязкость* экстраполируют к нулевой концентрации:

$$\lim_{C \rightarrow 0} \left(\frac{\eta_{уд}}{C} \right) = [\eta] = K \cdot M^\alpha \quad (2.6)$$

В случае бесконечно разбавленного раствора предельную приведенную вязкость называют *характеристической вязкостью* $[\eta]$. Ее определяют графическим способом: по оси ординат откладывают значения $\frac{\eta_{уд}}{C}$, определенные

опытным путем для разбавленных растворов полимера, по оси абсцисс – соответствующие концентрации. Отрезок, отсекаемый полученной прямой на оси ординат, соответствует *характеристической вязкости* $[\eta]$.

Величина K в уравнении (2.6) изменяется с изменением молекулярной массы и также зависит от природы растворителя. При большой длине молекулы полимера сворачиваются в клубок, при этом сопротивление течению уменьшается и зависимость вязкости от молекулярной массы отклоняется от прямолинейной.

Величина, характеризующая свертывание макромолекул в растворе (т.е. гибкость цепей), - α . Для жестких макромолекул, близких к палочкообразной форме, $\alpha = 1$, для гибких молекул, близких к сферической форме, $\alpha = 0,5$.

Определение относительной, удельной, приведенной и характеристической вязкости полисахаридов семян льна проводили в разбавленных растворах в интервале концентраций 0,0625 – 0,11% в дистиллированной воде, в 0,1М растворе натрия хлорида и 0,1М растворе сахарозы. Интервал концентраций разбавленных растворов был определен экспериментально.

Характеристическую вязкость $[\eta]$ растворов полисахаридов определяли экстраполяционным методом из концентрационных зависимостей приведенной вязкости [161].

Определение функциональных свойств полисахаридных и белковых продуктов из семян льна и льняного жмыха

Используемые в данной работе методы оценки функциональных свойств целевых продуктов разработаны в Московском государственном университете прикладной биотехнологии (МГУПБ). Методики успешно используются как в исследовательской практике, так и для целей сертификации продукции [31].

Определение водоудерживающей способности (ВУС).

Готовят серию из 10 суспензий с различным соотношением полисахаридного продукта и воды. Суспензии тщательно перемешивают до получения однородной консистенции и переносят в стеклянные центрифужные пробирки объемом 10 мл (приблизительно по 10 г), помещают в термостат с температурой 74–76 °С и выдерживают 15 мин. Затем пробирки охлаждают

холодной водой до комнатной температуры и центрифугируют при 1500 об/мин в течение 15 мин.

За величину ВУС принимают максимальное количество добавленной воды, при котором не наблюдалось отделения водной фазы в процессе испытания в пересчете на 1 г препарата. ВУС выражают в граммах воды на грамм препарата.

$$ВУС = (M_1 - M_2) / M_2, \quad (2.7)$$

где M_1 – масса гидратированного препарата, г;

M_2 – масса сухого препарата, г.

Определение жирудерживающей способности (ЖУС).

В стеклянные центрифужные пробирки емкостью 30 мл помещают 2 г исследуемого полисахаридного продукта и добавляют от 1 до 6 г растительного масла с интервалом 0,5г. Содержимое пробирок перемешивают стеклянными палочками в течение 10 минут, после чего пробирки с суспензиями продукта выдерживают 15 мин в термостате при температуре 74–76 °С, продолжая перемешивание. После термостатирования пробирки охлаждают холодной водой до комнатной температуры и центрифугируют при 1500 об/мин в течение 15 минут. За величину ЖУС принимают максимальное количество добавленного масла, при котором не наблюдается отделения масляной фазы в процессе испытания, в пересчете на 1 г препарата. ЖУС выражают в граммах масла на грамм препарата:

$$ЖУС = (M_1 - M_2) / M_2, \quad (2.8)$$

где M_1 – масса сольватированного препарата, г;

M_2 – масса сухого препарата, г.

Определение эмульсионной стабильности (ЭС) и способности к образованию эмульсий (СЭ).

Исследуемый препарат диспергируют в дистиллированной воде в соотношении 1:5. К полученной суспензии добавляют растительное масло и эмульгируют на гомогенизаторе 2 мин при максимальной скорости вращения (8000-10000 об/мин). Соотношение компонентов в эмульсии препарат-вода-масло составляет 1:5:5. Часть полученной эмульсии переносят в стеклянные

центрифужные пробирки объемом 10 мл (3 параллельные пробы), помещают в термостат с температурой 74-76° С и выдерживают 15 мин. Эмульсии охлаждают холодной водой до комнатной температуры и выдерживают 2 часа. Полученные эмульсии центрифугируют 15 мин на центрифуге при 2500 об/мин. Определяют ЭС – процентное отношение отделившихся от эмульсии водной и масляной фаз.

Оставшуюся часть эмульсии после гомогенизатора переносят в стаканы на 50 мл. Через 2 дня по результату: расслоилась или нет эмульсия делают заключение о СЭ.

ИК-спектры нарушенного полного внутреннего отражения (ИК НПВО) поверхности сухих образцов снимали на Фурье-спектрометре «Tensor 37» фирмы Bruker (Германия), управляемым программным пакетом OPUS со стандартными градуировочными возможностями, в диапазоне частот от 4000 до 600 см⁻¹ в формате поглощения. Полисахаридные продукты сушили также на предметном столике ИК-спектрометра при 20°С, контролируя окончание процесса сушки по стабилизации спектра, и при 50°С в термостате до постоянной массы, а затем измельчали.

Определение технологических характеристик разработанных пищевых ингредиентов (белкового концентрата и полисахаридного экстракта) - цветовые характеристики, насыпная плотность, показатели прессования. Цветовые характеристики определяли на приборе «CR-410» (Konica Minolta - Япония). Насыпную плотность порошков определяли с помощью прибора Волюмометра Скотта «PT-SV100».

Характеристики прессования порошков определяли по методике [210]. Для определения показателей прессования были использованы «PT-SV100» и текстурометр «Структурометр СТ-2». Первый прибор использовался как устройство для подготовки пробы. Для этого после того, как была установлена насыпная плотность порошка, кювета от «PT-SV100» с анализируемым порошком устанавливалась на столик прибора-текстурометра «Структурометр СТ-2» и сжималась с помощью индентора «Диск Ø30», диаметр которого соответствовал диаметру кюветы – 30мм. Прибор «Структурометр СТ-2» представлен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 - Информационно-измерительная система на базе прибора «Структурометр СТ-2».

ИК-обработка семян льна. Источником ИК-облучения служил нагревательный элемент PFQE. PFQE – полностью кварцевый элемент (Pillar Full Quartz Elements). Мощность – 1000Вт. Кварцевые инфракрасные элементы излучают волны в диапазоне 1,5-9 мкм. На основании исходных данных, представленных производителями, была рассчитана приведенная мощность

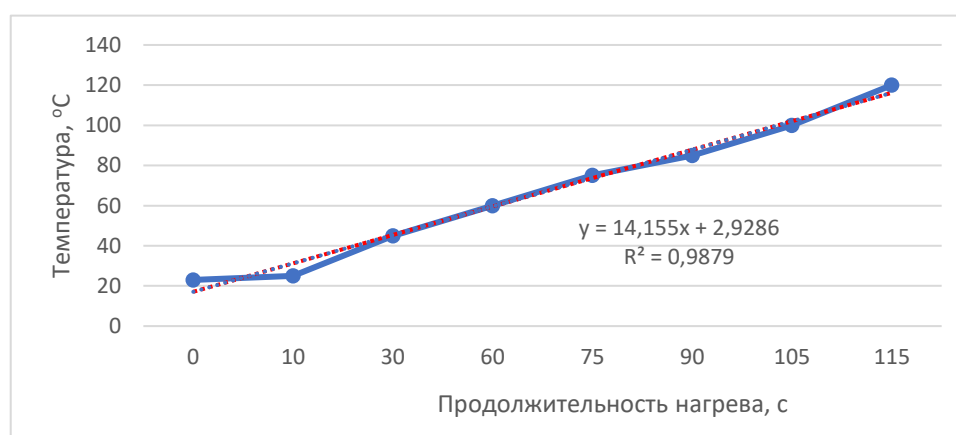


Рисунок 2.3 – Температурная кривая нагрева ИК излучателя нагревательного элемента. Приведенная мощность потока облучения, отнесенная к площади поверхности облучения, составила 55 Вт/м². По экспериментальным данным была построена температурная кривая нагрева ИК-излучателя (рисунок 2.3), которая позволила установить время предварительного нагрева установки перед облучением объекта при заданной температуре.

Семена льна подвергали обработке под действием ИК облучения в течение от 80 до 250 сек при температуре 120°C. Расстояние между поверхностью объекта и источником ИК-излучения h – 70 - 100 мм.

Органолептические исследования проводили с использованием балльной оценки качества, а также методики на основе описательного и профильного методов оценки.

Оценка отдельных показателей качества служит основой для расчета комплексного показателя продукта (Q). При этом вводят коэффициент весомости показателей. Коэффициенты весомости используют в связи с различной значимостью единичных показателей в общем восприятии качества продуктов. Они выражают доленое участие признака в формировании качества продукта и служат множителями при расчете комплексного показателя. Таким образом, коэффициенты весомости являются количественными характеристиками значимости органолептических показателей [147].

Для оценки органолептических свойств семян льна использовали балловый метод сенсорного анализа [70].

Для комплексной оценки качества мафинов по органолептическим показателям использовали разработанную 50-балльную шкалу в соответствии с ГОСТ 15052 (форма, поверхность, вид в изломе, структура, вкус, запах). Панель дескрипторов представлена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Панель дескрипторов для оценки качества мафинов

| Наименование показателя | Баллы | Характеристика показателя |
|--------------------------------|--------------|--|
| Форма | 1 – 6 | Правильная, с выпуклой верхней поверхностью. Нижняя и боковые поверхности без пустот и раковин |
| Поверхность | 1 – 9 | Верхняя – выпуклая, с характерными трещинами, с наличием явно выраженной боковой поверхности |
| Вид в изломе | 1 – 12,5 | Пропеченное изделие без комочков, следов непромеса, с равномерной пористостью, без пустот и закала. Крупные добавления (экструдированные крупы и пр.) равномерно распределены по всему объему мякиша изделия |
| Структура | 1 – 12,5 | Мягкая, связанная, разрыхленная, пористая, без пустот и уплотнений |
| Вкус | 1 – 6 | Изделия со сдобным вкусом, предусмотренных по рецептуре пищевых ингредиентов, добавок или ароматизаторов, без посторонних вкусов |
| Запах | 1 - 4 | Изделия с характерным ароматом, предусмотренных по рецептуре пищевых ингредиентов, добавок или ароматизаторов, без посторонних запахов |

Для сенсорной оценки эмульсионных продуктов с использованием льняной муки была разработана система дескрипторов по следующим показателям качества: консистенция, вкус, запах, цвет, общее впечатление (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Панель дескрипторов для оценки соусов льняных «Будь здоров»

| Показатель качества | Дескрипторы (описание) | Количественная оценка, балл |
|--------------------------|--|-----------------------------|
| Консистенция | Однородная, не расслаивающаяся, оптимально густая | 5,0 – 4,5 |
| | Однородная, чуть жидковатая или излишне густая, не расслаивающаяся | 4,4 – 3,5 |
| | Чрезмерно жидкая или чрезмерно густая | 3,4 – 2,5 |
| | Расслаивающаяся на 2 слоя | 2,4 – 1,5 |
| | Расслаивающаяся на 3 и более слоев | 1,4 - 0 |
| Вкус | Нежный, приятный | 5,0 – 4,5 |
| | Пряный, с чрезмерным привкусом вносимых ингредиентов | 4,4 – 3,5 |
| | Пресный | 3,4 – 2,5 |
| | Кислый излишне | 2,4 – 1,5 |
| | Масляный излишне | 1,4 - 0 |
| Запах | Приятный салатный аромат | 5,0 – 4,5 |
| | Превалирующий запах одного из вносимых ингредиентов | 4,4 – 3,5 |
| | Резкий запах вносимых ингредиентов | 3,4 – 2,5 |
| | Резкий запах несвойственный вносимым ингредиентам | 2,4 – 1,5 |
| | Неприятный запах | 1,4 - 0 |
| Цвет | Однородный соответствующий цвету овощей, входящих в рецептуру | 5,0 – 4,5 |
| | Однородный с вкраплениями недостаточно измельченных ингредиентов | 4,4 – 3,5 |
| | Неоднородный с редкими вкраплениями | 3,4 – 2,5 |
| | Неоднородный с частыми вкраплениями | 2,4 – 1,5 |
| | Неоднородный с контрастными цветами | 1,4 - 0 |
| Общее впечатление | Высокий уровень | 5,0 – 4,5 |
| | Хороший уровень | 4,4 – 3,5 |
| | Удовлетворительный уровень | 3,4 – 2,5 |
| | Неудовлетворительный уровень | 2,4 – 1,5 |
| | Плохой уровень | 1,4 - 0 |

По каждому показателю в свою очередь разработана подсистема из 5 дескрипторов. Такая система дескрипторов охватывает практически все аспекты сенсорного качества продукта. Коэффициенты весомости показателей качества представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Коэффициенты весомости показателей качества для соусов с льняной мукой

| Показатель качества | Коэффициент весомости |
|---------------------|-----------------------|
| Вкус | 8 |
| Консистенция | 4 |
| Общее впечатление | 4 |
| Запах | 2 |
| Цвет | 2 |

Оценивали уровень единичных показателей качества соусов с льняной мукой и их комплексные показатели [147]. Полученные данные представляли в виде профилограмм отдельных показателей качества и комплексной оценки.

Для сенсорной оценки кондитерских паст была разработана балльная шкала с учетом критерия значимости и требований ГОСТ 31986. За основу была взята шкала анализа для шоколадных паст [70].

Система дескрипторов разработана по следующим показателям качества: внешний вид, вкус, структура, консистенция, запах. По каждому показателю в свою очередь разработана подсистема из нескольких дескрипторов. Разработанная система дескрипторов представлена в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Характеристика органолептических показателей льняных паст

| Показатель качества | Дескрипторы (описание) | Количественная оценка, балл |
|---------------------|---|-----------------------------|
| Внешний вид | Масса коричневого шоколадного цвета | 5,0 – 4,5 |
| | Масса коричневого шоколадного цвета с редкими вкраплениями | 4,4 – 3,5 |
| | Масса коричневого шоколадного цвета с вкраплениями недостаточно измельченного сырья | 3,4 – 2,5 |
| | Масса неоднородного коричневого шоколадного цвета | 2,4 – 1,5 |
| | Масса неоднородная с контрастными цветами | 1,4 - 0 |
| Консистенция | Однородная пастообразная | 5,0 – 4,5 |
| | Однородная пастообразная чуть жидковатая или излишне густая | 4,4 – 3,5 |
| | Однородная чрезмерно жидкая или чрезмерно густая | 3,4 – 2,5 |
| | Неоднородная. Нерасплаивающаяся | 2,4 – 1,5 |
| | Неоднородная. Расплаивающаяся | 1,4 - 0 |
| Структура | Пластичная хорошо намазывающаяся масса | 5,0 – 4,5 |
| | Пластичная при намазывании или растекается или стоит куском | 4,4 – 3,5 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| | Пластичная плохо намазывается из-за чрезмерной густоты или жидкости | 3,4 – 2,5 |
| | Непластичная намазывается с трудом | 2,4 – 1,5 |
| | Непластичная не намазывается | 1,4 - 0 |
| Запах | Шоколадно-льняной приятный | 5,0 – 4,5 |
| | Превалирующий запах одного из вносимых ингредиентов | 4,4 – 3,5 |
| | Резкий запах вносимых ингредиентов | 3,4 – 2,5 |
| | Резкий запах несвойственный вносимым ингредиентам | 2,4 – 1,5 |
| | Неприятный запах | 1,4 - 0 |
| Вкус | Хорошо выраженный шоколадно-льняной сладкий | 5,0 – 4,5 |
| | Приятный, хорошо выраженный | 4,4 – 3,5 |
| | Без посторонних признаков | 3,4 – 2,5 |
| | Имеется посторонний привкус | 2,4 – 1,5 |
| | Несъедобный | 1,4 - 0 |

Для отобранных дескрипторов были определены коэффициенты значимости. Наибольший удельный вес для таких продуктов как кондитерские пасты имеют дескрипторы: внешний вид и вкус. Коэффициенты весомости показателей качества для паст представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Коэффициенты весомости показателей качества для кондитерских паст

| Показатель качества | Коэффициент весомости |
|---------------------|-----------------------|
| Внешний вид | 5 |
| Вкус | 5 |
| Структура | 4 |
| Консистенция | 3 |
| Запах | 3 |

Путем математической обработки оценок дегустаторов рассчитывали уровень единичных показателей качества каждого вида паст и их комплексный показатель.

Средние арифметические значения единичных показателей качества (в баллах) оценивали по формуле [147]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.9)$$

где $\sum_{i=1}^n x_i$ - сумма оценок дегустаторов по единичному показателю (вкусу, запаху, и т.д.) каждого образца;

n – число дегустаторов.

Комплексный показатель качества Q представляет собой сумму оценок единичных показателей с учетом соответствующих коэффициентов весоностей этих показателей и определяется по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i k_i \quad (2.10)$$

где \bar{x}_i - усредненные оценки единичных показателей качества, баллы;

k_1, \dots, k_n – соответствующие коэффициенты весоности единичных показателей;

n – число единичных показателей.

На основании количественных оценок дескрипторов для разработанных паст определяли их профилограммы качества.

Расчет пищевой, энергетической ценности, степени удовлетворения основных эссенциальных веществ проводили путем сравнения химического состава разработанных продуктов с формулой сбалансированного питания [90].

Определение показателей биологической ценности белка [84]:

1. Аминокислотный скор (C_j) характеризует соотношения количества незаменимой аминокислоты в продукте (A_j , г/100г белка) к ее содержанию в эталонном белке ($A_{эмj}$):

$$C_j = A_j / A_{эмj} \quad (2.11)$$

2. Коэффициент утилитарности j -й незаменимой аминокислоты (K_j), доли ед.:

$$K_j = C_{min} / C_j, \quad (2.12)$$

где C_{min} – минимальный скор незаменимых аминокислот оцениваемого белка по отношению к физиологически необходимой норме (эталону).

3. Коэффициент сбалансированности аминокислотного состава (КСАС) – R_c – численно характеризует сбалансированность незаменимых аминокислот по отношению к физиологически необходимой норме (эталону), доли ед.:

$$R_c = \frac{\sum_{j=1}^n A_j K_j}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad (2.13)$$

4. Коэффициент разбалансированности аминокислотного состава (КРАС) R – численно характеризует разбалансированность незаменимых аминокислот оцениваемого белка по отношению к физиологически необходимой норме (эталону). Этот показатель характеризует избыточное количество незаменимых аминокислот неиспользуемых на пластические нужды

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n A_j - C_{\min} \sum_{j=1}^n A_{\text{эт}j}}{\sum_{j=1}^n A_j} 100\% \quad (2.14)$$

5. Показатель сопоставимой избыточности – σ (ПСИ) – содержание незаменимых аминокислот, характеризуют суммарную массу незаменимых аминокислот, неиспользуемых на анаболические нужды в количестве белка оцениваемого продукта, относительно эквивалентном их потенциально утилизируемому содержанию 100 г белка-эталона, мг/г эталонного белка:

$$\sigma = \frac{\sum_{j=1}^n (A_j - C_{\min} A_{\text{эт}j})}{C_{\min}} \quad (2.15)$$

6. Коэффициент отклонения значений аминокислотного состава от эталонных (КОАС) характеризует суммарную относительную величину отклонений значений незаменимых аминокислот от соответствующих эталонных:

$$КОАС = \sum_{j=1}^n \frac{A_j - A_{\text{эт}j}}{A_{\text{эт}j}} \quad (2.16)$$

Индекс незаменимых аминокислот *ИНАК* учитывает количество всех незаменимых аминокислот и определяется по формуле:

$$ИНАК = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \frac{A_j}{A_{\text{эт}j}}} \quad (2.17)$$

2.3.3 Способы получения полисахаридных, белковых и пищевых продуктов

Получение полисахаридных экстрактов и комплексов из семян льна.

Экстракцию полисахаридов из цельных семян льна проводили в дистиллированной воде при варьировании параметров процесса: температуре 40–80°C, при постоянном перемешивании в течение 1 - 2 ч, гидромодуле процесса 8-20. После отделения экстракта от сырья его разделяли на две части. Первая – полисахаридный экстракт (ПС экстракт). Из второй части экстракта выделяли полисахаридный комплекс (ПС комплекс) высаживанием в 3-кратном избытке этилового (96%) или изопропилового (23 – 67%) спирта.

Полисахаридные продукты в лабораторных условиях сушили в микроволновой печи LG Intellrowave (MS-1724U) при мощности 500 Вт, в течение 1-3 мин.

Белковые экстракты из льняного жмыха и шрота получали в дистиллированной воде при pH 8,5, температуре 40±2°C в течение 2 часов при постоянном перемешивании. Соотношение льняного жмыха и растворителя (гидромодуль) составляло – 1/20. Полученный экстракт отделяли от осадка жмыха отстаиванием, декантированием или центрифугированием при 3000 об/мин в течение 20 мин. Экстракт сушили тонким слоем (не более 0,5 см) при температуре от 60 до 65°C, затем измельчали и получали сухой белок-полисахаридный экстракт (БПС экстракт).

Получение концентрата белка из льняного жмыха. Белковый концентрат из льняного жмыха получали в соответствии со следующей последовательностью технологических операций: измельчение сырья, экстракция белка, отделение белкового экстракта, осаждение белка в изоэлектрической точке, отделение и сушка влажного белка.

Экстракцию белка из льняного жмыха проводили при условиях: гидромодуль 18 – 20; температура 40 - 45°C; продолжительность – 2 часа; экстрагент – 7%-ный раствор NaCl; pH 8,5 - 9.

Приготовление маффинов

Маффины с полисахаридным (ПС) комплексом из семян льна, с льняным семенем и льняной мукой готовили в лабораторных условиях по рецептуре, представленной в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Модельный рецептурный состав и параметры процесса лабораторной выпечки маффинов

| Ингредиент | Масс % | Ингредиент | Масс % |
|---------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| Мука пшеничная в.с. | 37,8-33,6 | Льняной продукт | 2,0-4,0 |
| Молоко (2,5%-ное) | 23,3 | Соль | 0,8 |
| Сахар | 7,8 | Разрыхлитель | 1,2 |
| Масло растительное | 7,8 | ПС- комплекс Вода | 0-1,2 остальное |
| Параметры процесса | | | |
| Масса порции, г | Продолжительность, мин | | Температура, °С |
| 40 | 20 | | 205±5 |

Были приготовлены 11 образцов маффинов:

- контрольный - без добавок льняных продуктов, но с добавлением яиц,
- 4 варианта – с заменой части пшеничной муки подсушенными измельченными семенами льна от 5 до 20% от массы муки пшеничной,
- 6 вариантов – с заменой пшеничной муки льняной мукой от 5 до 30% от массы пшеничной муки.

При использовании льняной муки из рецептуры исключали яичные продукты.

Маффины на основе кукурузной муки с полисахаридным комплексом семян льна готовили в лабораторных условиях по рецептуре, представленной в таблице 2.9.

Было приготовлено 28 образцов. Контрольный образец содержал муку кукурузную, сахар, молоко, масло растительное, соль, разрыхлитель, воду, яйцо. Восемь образцов - с заменой части кукурузной муки льняной мукой от 5% до 20% от массы кукурузной муки.

Таблица 2.9 - Модельный рецептурный состав и параметры процесса лабораторной выпечки маффинов на основе кукурузной муки

| Ингредиент | Масс % | Ингредиент | Масс % |
|--------------------|------------------------|-------------------------|-----------------|
| Мука кукурузная | 37,8-33,6 | Льняной продукт | 0-20 |
| Молоко (2,5%-ное) | 23,3 | Соль | 0,8 |
| Сахар | 7,8 | Разрыхлитель | 1,2 |
| Масло растительное | 7,8 | Вода | остальное |
| Крахмал кукурузный | 0-20 | Полисахаридный экстракт | 0-5,0 |
| Параметры процесса | | | |
| Масса порции, г | Продолжительность, мин | | Температура, °С |
| 40 | 20 | | 205±5 |

Четыре образца – с заменой части кукурузной муки подсушенными измельченными семенами льна от 5 до 10% от массы кукурузной муки. Пятнадцать образцов с полисахаридным комплексом от 0,1% до 5,0% относительно кукурузной муки в водном растворе и в растворе 0,8 М хлорида натрия.

Приготовление эмульсионных соусов с льняной мукой.

Эмульсионные соусы с льняной мукой готовили в соответствии со схемой, представленной на рисунке 2.4.

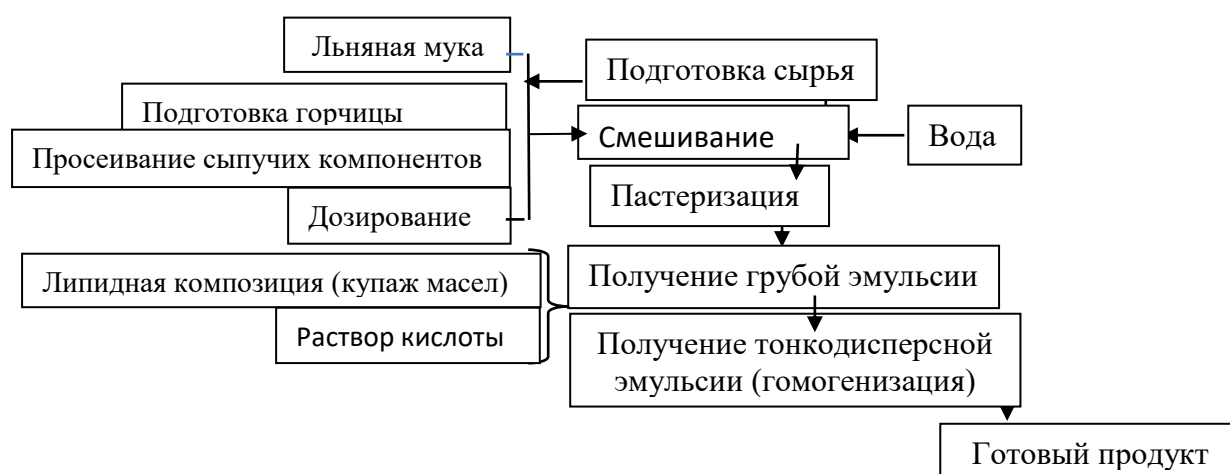


Рисунок 2.4 – Технологическая схема получения эмульсионных соусов с льняной мукой

Основные рецептуры эмульсионных соусов с льняной мукой представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Рецептуры эмульсионных соусов с льняной мукой

| Наименование сырья | Соус льняной | Соус льняной острый | Соус льняной ореховый | Соус льняной с хреном | Соус льняной свекольный | Соус льняной морковный |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | Количество сырья в г на кг продукта | | | | | |
| Вода питьевая | 577 | 469 | 484 | 389,5 | 309,5 | 329 |
| Купаж масел | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Мука льняная | 50 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 |
| Орехи молотые | - | - | 100 | - | - | - |
| Томат-паста | - | 100 | - | - | - | - |
| Свекольное пюре | - | - | - | - | 250 | - |
| Морковное пюре | - | - | - | - | - | 250 |
| Горчица | 50 | 60 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Уксусная (лимонная) кислота | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Чеснок свежий измельченный | 14 | 14 | 14 | - | - | - |
| Сахарный песок | 10 | 10 | 10 | 30 | 40 | 20 |
| Соль пищевая | 3 | 3 | 3 | 10 | 10 | 10 |
| Перец черный молотый | 3 | 5 | 3 | - | 0,5 | 0,5 |
| Куркума молотая | 3 | 3 | 3 | - | - | - |
| Имбирь молотый | 3 | 3 | 3 | - | - | 0,5 |
| Красный жгучий перец | - | 3 | - | 0,5 | - | - |
| Корень хрена измельченный | - | - | - | 180 | - | - |

2.3.4 Обработка экспериментальных данных

При проведении исследований эксперименты проводили в трех и более повторностях. Математическую обработку экспериментальных данных, графические интерпритации зависимостей, найденных при обработке экспериментальных данных, обработку ИК – спектров проводили с использованием программ Excel, Statistica 6.0, Oridin.

Результаты исследований и их анализ

Глава 3 Научное обоснование выбора семян льна для получения пищевых функциональных ингредиентов

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

Производство семян масличного льна

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 химической промышленности [195, 201, 346].

Наибольшие посевные площади масличного льна сосредоточены в Канаде, Китае, США, России, Казахстане. В последние годы растет его производство в Беларуси.

Анализ данных [141], представленных на рисунке 3.1 показал, что после 2009 года в России резко возросло производство масличного льна. В 2011 - 2012 гг Россия вышла на первое место по экспорту семян льна, поставив на внешние рынки 397 тыс. т, более чем в вдвое увеличив результат предыдущего года (152 тыс. т.). Причиной этому в том числе явился в 2011 году отказ Евросоюза от канадских семян, произведенных из генетически модифицированных сортов. За период с 2007 по 2018 годы площадь посевов масличного льна выросла более чем в 6 раз, а именно с 110 до 745,6 тыс. га, валовой сбор семян резко увеличился и, например, в 2016 году превысил 700 тыс. тонн, при этом общая урожайность культуры в этом году составила 10,4 ц/га [103].

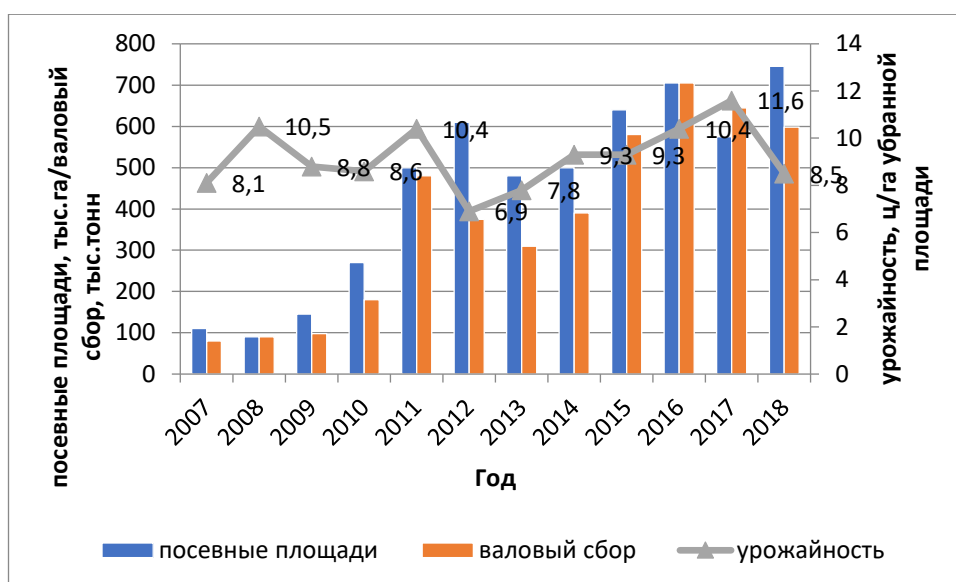


Рисунок 3.1 – Динамика показателей посевных площадей, валовых сборов и урожайности масличного льна в России за период 2007-2018 гг.

Однако, в 2017 году в России были снижены посевные площади, но за счет высокой урожайности 11,5 ц/га валовый сбор составил 645 тыс. тонн. Последующее увеличение посевных площадей в 2018 году (745 тыс. га) не позволило увеличить валовый сбор в связи с низкой урожайностью (8,5 ц/га), который составил 598,4 тыс. тонн.

Резкий рост производства семян льна в России стал возможен благодаря высокой цене на масличные культуры на мировом рынке и экспортным перспективам. В настоящее время масличный лен – это в большой степени экспортная культура, а на внутренний рынок для переработки поступает незначительное количество масличного льна.

Посевные площади льна масличного в России в 2018 году, по данным Росстата, находились на уровне 745,6 тыс. га. За год размеры площадей выросли на 31,1% (на 177,1 тыс. га), за 5 лет - на 55,8% (на 267,1 тыс. га), за 10 лет - на 781,5% (на 661,0 тыс. га). Для сравнения - в 2001 году посеы составляли всего 8,7 тыс. га [141].

Производство льна-кудряша в России в 2018 году находилось на отметках в 598,4 тыс. тонн, что на 6,9% (на 44,1 тыс. тонн) меньше, чем в 2017 году. За 5 лет

сборы выросли на 86,8% (на 278,0 тыс. тонн), за 10 лет - на 595,7% (на 512,3 тыс. тонн). В 2001 году собрали 6,3 тыс. тонн льна-кудряша [168].

Урожайность льна-кудряша в России в 2018 году находилась на уровне 8,5 ц/га, что на 26,7% (на 3,1 ц/га) меньше, чем в 2017 году и на 9,0% (на 0,7 ц/га) больше показателей пятилетней давности. За 10 лет урожайность снизилась на 19,0% (на 2,0 ц/га) [141, 168].

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.

Как в предыдущие годы, так и сейчас рынок масличного льна является сугубо экспортноориентированным, семена реализуются в Европу, также в последние годы растет вывоз в Китай и Вьетнам. Существенный рост переработки масличного льна в России подтверждает статистика по производству льняного масла. Так, с января по ноябрь 2018 года выпуск масла возрос в 1,5 раза до 15,3 тыс. тонн. Драйверами роста стали Центральный и Сибирский макрорегионы. Масло реализуется как на внутреннем рынке, так и на экспорт, преимущественно в Китай [83].

Основными производителями масличного льна в современной России являются Ростовская область, Омская область, Алтайский край, Ставропольский край, Курганская область и др. Доля региональных посевных площадей масличного льна – льна кудряша в 2018 году представлена на диаграмме рисунка 3.2.

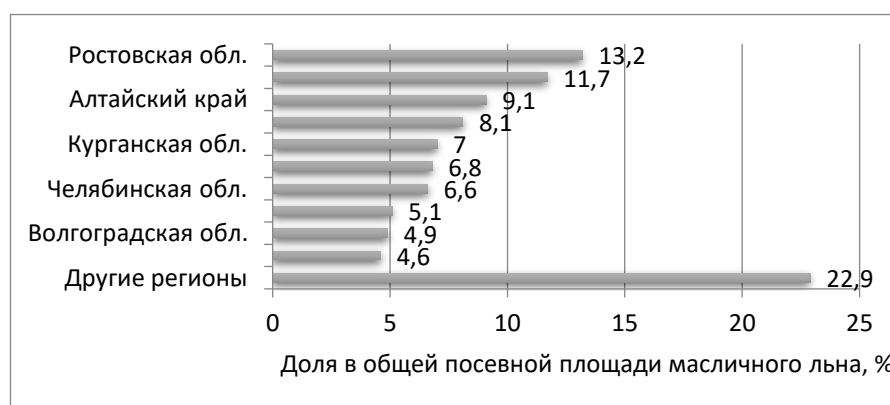


Рисунок 3.2 – Доля посевных площадей льна-кудряша в регионах России в 2018 г.

Доля регионов России в валовом сборе масличного льна в России в 2018 году отражена на диаграмме рисунка 3.3. Несмотря на большой размер посевных площадей, например, Ростовская область не смогла собрать и большой объем семян масличного льна. А в число первых 10 регионов по сбору этой культуры вошли Пензенская и Воронежская области, опередив Волгоградскую и Саратовскую за счет более высокого урожая (рисунок 3.4).



Рисунок 3.3 – Валовый сбор масличного льна в регионах России в 2018 году



Рисунок 3.4 – Урожайность масличного льна в регионах России в 2018 году

В России, как показали расчеты, выполненные авторами [108], даже при низкой урожайности семян (0,6 т/га) обеспечивается рентабельность выращивания семян масличного льна на уровне 20%, а при урожайности семян 1т/га

рентабельность приближается к 100 %. При урожайности семян свыше 1–1,5 т/га рентабельность может достичь 120–135 % [322].

Соотношение внутренней переработки и экспорта

Для современной России масличный лен остается преимущественно экспортным товаром. Развитие экспорта является основным трендом внутреннего производства и повышения его инвестиционной привлекательности. При этом для культуры сохраняется проблема отсутствия надежных рынков сбыта ввиду непопулярности нишевых масел среди российского населения и нестабильности экспортного спроса.

По данным Федерального центра «Агроэкспорт» [150] в 2019 году Россия экспортировала 549 тыс. тонн масличного льна, что на 38% больше показателя 2018. В стоимостном выражении объем увеличился на 49% до 220 млн долл. С 1 января по 3 мая 2020 года экспорт составил 117 тыс. тонн на сумму 51 млн долл. В этом же году масличный лен из России поставлялся в 46 стран мира. Крупнейшим покупателем стала Бельгия, куда было отправлено 205 тыс. тонн стоимостью 81 млн долл. – на 26% выше объема 2018 года. Практически аналогичный объем был поставлен в Китай – 197 тыс. тонн на сумму 81 млн долл., за год отгрузки в эту страну увеличились в 2,9 раза в денежном эквиваленте. Также в перечень наиболее значительных 5 покупателей входят Монголия (11 млн долл.), Польша (9 млн долл.) и Италия (8,5 млн долл.).

Одновременно потенциал экспортного направления связан с наращиванием внутренней переработки масличного льна и, соответственно, повышением добавленной стоимости отгружаемой продукции. До 2018 года продажи льняного масла за рубеж из России практически не осуществлялись, составляя менее 1 млн долл. В 2018 году наметился тренд в сторону роста, что иллюстрирует диаграмма на рисунке 3.5: по итогам года экспорт составил 7,71 тыс. тонн стоимостью 6,3 млн долл., в 2019 году этот объем вырос в 3,8 раза. Кроме того, 39 государств являлись импортерами российского льняного масла. Основные его покупатели – Китай с долей 54% в общем объеме и Норвегия (42%). Всего в 2019 году Россия экспортировала 26,1 тыс. тонн льняного масла стоимостью 24 млн долл., в начале

2020 года по состоянию на 3 мая экспорт льняного масла составил 12 тыс. тонн стоимостью 11 млн долл.

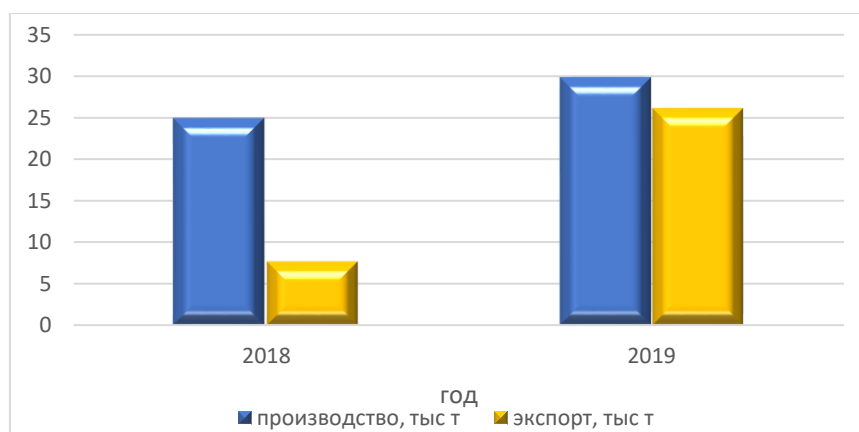


Рисунок 3.5 – Производство и экспорт льняного масла (диаграмма построена по данным сайта www.sectormedia.ru/news/rastenievodstvo/gynok-lna-v-rossii-i-mire/)

По данным, опубликованным на сайте oilworld.ru, экспорт льняного масла в сезоне 20/21 составил 78% от общего объема его производства в России.

В перечень потенциальных стран-потребителей российского масличного льна и льняного масла в первую очередь входят европейские страны (Польша, Дания, Греция, Великобритания, Чехия, Швейцария, Босния и Герцеговина), а также Япония.

Тем не менее следует отметить существенное увеличение внутренней переработки льна в России. В 2019 году по сравнению с годом ранее она возросла на 70-75%. Основные переработчики льна сосредоточены в Липецкой, Омской и Калининградской областях, а также в Алтайском крае. Высокий интерес к переработке связан с ростом спроса на льняное масло как со стороны Китая, так и Норвегии, которые в совокупности формируют 98% экспорта льняного масла из России.

По прогнозам Минсельхоза в 2020 году в России валовой сбор семян льна должен был вырасти примерно до 660–670 тыс. т (+2% к показателю 2019 года) за счет увеличения площади сева примерно до 840 тыс. га (+3%) [168]. По факту в 2020 году посевные площади составили 1,03 млн га, так в СФО посевы выросли на 66%. Росту производства льна в немалой степени способствует экспортный

спрос и привлекательная ценовая конъюнктура как считают специалисты Института конъюнктуры аграрного рынка на сайте oilworld.ru.

В 2019 году исходя из статистических данных, опубликованных в СМИ, из собранных 647 тыс. т масличного льна на экспорт было отправлено 549 тыс. т, что составило 84,8%. Таким образом, на внутреннюю переработку используется не более 15% собранного урожая.

Направления переработки масличного льна

Переработка масличного льна, как направление развития льняного комплекса, была отражена Министерством сельского хозяйства Российской Федерации в «Концепции обеспечения предприятий льняного комплекса техникой и технологическим оборудованием по выращиванию, уборке льна и его глубокой переработке на 2008–2012 гг. и на период до 2020 года», где предлагалось существенно увеличить производство льносемян для выпуска пищевой продукции и увеличения ассортимента новых, в т.ч. и фармацевтических препаратов [62]. Все это должно способствовать строительству новых и реконструкции старых предприятий комплексной переработки льна на масло, шрот, жмых, муку, пищевые семена, сокращению импорта масел, созданию дополнительных рабочих места на селе.

Семена льна масличного традиционно используют для получения масла, как пищевого, так и технического (рисунок 3.6). В настоящее время 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. Ключевую роль в мировом росте востребованности льняного протеина играет повышение осведомленности потребителей о положительном влиянии этого продукта на здоровье человека.



Рисунок 3.6 – Переработка льна масличного

В настоящее время в промышленных масштабах на предприятиях малого и среднего бизнеса производят льняное масло (пищевое и техническое) и льняную муку; льняной жмых в количествах до 10% добавляют в кормовые смеси. Повышение содержания льняной муки в пищевых 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.)

Льняной протеин в виде белкового концентрата можно получать из остающегося после выработки льняного масла жмыха. Выход масла в среднем составляет 30% относительно сырья, остальные 70% - жмых. Так, например, из жмыха, полученного в 2019 году (69,5 тыс т) можно было выработать дополнительно не менее 13 тыс т (при выходе 20%) льняного белкового

концентрата. Глубокая переработка семян льна с получением белковых концентратов, позволит получать дополнительный народнохозяйственный эффект за счет продукции с высокой добавленной стоимостью, а также социальный эффект, связанный с обогащением рационов питания населения высококачественным растительным белком, более дешевым по сравнению с животным. Внедрение таких производств, вполне вероятно, позволит стимулировать увеличение внутренней переработки этого ценного сырья.

Масличный лен является сырьем для производства быстровысыхающего масла для химической промышленности, линолеума [364]. Используется в качестве функциональной пищевой и кормовой добавки [53, 240], пищевую муку используют в кондитерских, хлебобулочных изделиях [133, 207]. Продукты переработки семян широко используются в лакокрасочном производстве, бумажной, парфюмерной, мыловаренной, кожевенной, резиновой отраслях промышленности и в медицине, а жмых и шрот являются ценным белковым кормом для животных. Второй вид льнопродукции – солома, несмотря на значительно худшее качество, чем у льна-долгунца её можно использовать как целлюлозосодержащее сырье, позволяя, тем самым, расширить его применение не только в текстильной, но и других отраслях промышленности [193]. Лен относится к постоянно возобновляемым источникам целлюлозы. В стебле льна содержится до 60-65% древесины – костры. При средней урожайности 35 ц/га соломки лен может дать столько же целлюлозы, сколько 1,5 га хвойного леса [12].

Ассортимент изделий из волокна масличного льна достаточно широк – это нетканые материалы, различные утеплители, техническая вата, целлюлоза и другие льносодержащие изделия [107]. Однако, несмотря на наличие технологий переработки соломы масличного льна в ликвидное волокно, масличный лен для производства волокна и изделий из него используют в незначительных объемах [144].

Благодаря универсальности этой сельскохозяйственной культуры и широкому ассортименту продуктов, которые можно получать из нее, производство и переработка масличного льна являются рентабельными.

3.2 Обоснование пищевого использования семян льна

Семена льна, наряду с ценными биологически активными веществами, также содержат соединения, которые могут влиять на процессы усвоения пищевых продуктов и образование нежелательных веществ. К этим соединениям относятся цианогенные гликозиды, линатин, фитиновая кислота, некоторые продукты окисления липидов.

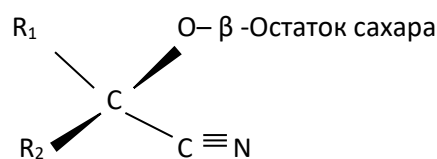
Целью раздела является изучение безопасности семян льна и продуктов их переработки в качестве пищевого сырья. Для этого были проанализированы литературные данные и приведены результаты исследования используемого в настоящей работе льняного сырья

Гликозиды представляют собой соединения углеводов с органическими веществами различной природы. Углеводная часть обычно представлена остатком глюкозы. По строению неуглеводной части различают нитрилгликозиды (цианогенные гликозиды), тиогликозиды, стеролгликозиды, сапонингликозиды.

Нитрилгликозиды или цианогенные гликозиды в своем неуглеводном фрагменте содержат синильную кислоту, которая может отщепляться при ферментативном или кислотном гидролизе.

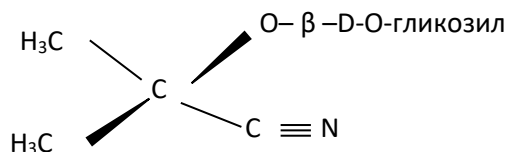
Льняное семя содержит следующие цианогенные гликозиды: линамарин, линустатин и неолинустатин, которые при метаболизме внутри организма могут стать причиной цианогенеза [75, 181]. Линустатин и неолинустатин являются дигликозидами, в состав которых в качестве моногликозидов входят линамарин и лотустралин [263].

Структурная формула цианогенных гликозидов:



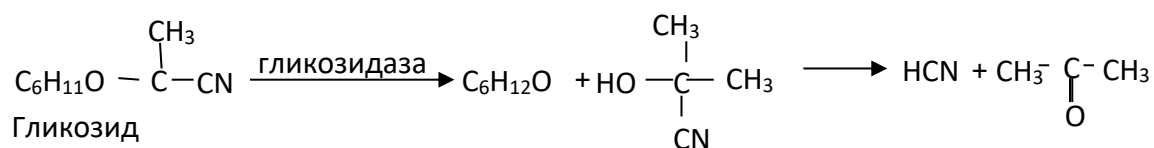
где - линамарин: $O - \beta\text{-D-O-гликозил}$, $R_2 - CH_3$; линустатин: $\beta\text{-O-гентиобиозил}$, $R_2 - CH_3$; неолинустатин: $\beta\text{-O-гентиобиозил}$, $R_2 - C_2H_5$; R_1 – обычно алифатическая или ароматическая группа.

Основным представителем нитрилгликозидов в семенах льна является линамарин, в котором R_1 является остатком валина:



В чистом виде гликозиды нетоксичны. Это – твердые кристаллические или аморфные вещества, хорошо растворяются в воде, имеют горький вкус, являются нестойкими соединениями. Они расщепляются при термообработке, при неправильном хранении, при самосогревании семян под действием специфических ферментов в присутствии избыточной влажности и тепла (30-50°C) [269, 438].

Под действием β -гликозидазы в семенах льна и продуктах их переработки протекает гидролиз линамарина с выделением синильной кислоты:



При гидролизе сначала образуется α -гидроксинитрил, который расщепляется на ацетон и синильную кислоту. Механизм действия синильной кислоты известен, он заключается в поражении нервной системы человека.

Содержание цианогенных гликозидов в семенах льна варьирует в зависимости от сорта, региона культивирования, погодных условий, при этом сорт считается наиболее важным фактором. Например, для канадских сортов типичный диапазон общего содержания цианогенных гликозидов составляет 0,0060-0,0092 мг/г [365]. Для отечественных сортов семян льна аналогичные показатели определялись небольшим количеством авторов и найденные значения не превышали 0,0018 мг/г [75, 152, 217].

При рекомендованном ежедневном потреблении 1-2 ст. ложки семян льна из них может выделиться 5-10 мг HCN, что значительно ниже токсичной дозы для взрослого человека 50-60 мг (летальная доза <1 мг на кг веса) [276].

По данным источника [223] содержание цианогенных предшественников, присутствующих в семенах льна на разных континентах, колеблется от менее 80 до примерно 300 мг эквивалентов цианида / кг семян. Используя эти научные данные в качестве ориентира, авторы [286] рассчитали, что можно потребить до 120 граммов измельченного льняного семени, прежде чем будет достигнут порог токсичности в крови 40 мкмоль/л. Для «среднего» человека весом 70 кг это соответствует около 1,7 грамма молотого льняного семени / кг массы тела.

В свежеизмельченных семенах льна были обнаружены только следовые количества синильной кислоты [217, 241].

Содержание синильной кислоты в льняной муке закономерно выше, чем в семенах льна. Перед обезжириванием семена льна увлажняют и нагревают, что вызывает ферментативный гидролиз гликозидов. Синильная кислота переходит в льняной жмых или шрот, а далее и в продукты их переработки, в частности льняную муку. Содержание синильной кислоты в льняной муке по данным как наших, так и зарубежных исследователей варьирует в пределах 0,025-0,039 мг/г, тогда как в семенах льна: 0,0087 - 0,036 мг/г [152, 276]. Следует учитывать, что в льняной муке содержатся природные антидоты синильной кислоты, такие как сахароза и глюкоза, содержание которых составляет 5,9 – 7,5%, а также серосодержащие аминокислоты (цистин, метионин). Они образуют с синильной кислотой нетоксичные соединения, которые выводятся из организма.

Существует несколько направлений инактивации синильной кислоты [263, 269, 293, 438, 434].

1. Высокотемпературная обработка – при 170°C и выше синильная кислота полностью разрушается.

2. Использование веществ, взаимодействующих с синильной кислотой с образованием нетоксичных соединений, которые выводятся из организма. Среди них – глюкоза, аминокислоты, метгемоглобин, витамин В_{12a} (гидрокобаламин).

Глюкоза образует с синильной кислотой нетоксичный циангидрин. Считается, что высокой антидотной активностью обладают аминокислоты, содержащие серу – глутатион, цистеин, цистин, метионин. При взаимодействии синильной кислоты

с такими веществами образуются роданистые соединения, которые легко выводятся из организма. Метгемоглобинообразователи часто используются при отравлении синильной кислотой. В первую очередь метгемоглобин соединяется с синильной кислотой, растворенной в плазме крови, и прекращает тем самым ее переход в ткани. Вследствие нарушения равновесия концентраций синильной кислоты в плазме крови и тканях, происходит переход синильной кислоты из тканей в кровь и соединение её с метгемоглобином с образованием цианметгемоглобина. В дальнейшем цианметгемоглобин постепенно диссоциирует и свободная синильная кислота вновь появляется в плазме. Однако этот процесс идет медленно, что позволяет принять своевременные меры по обезвреживанию цианида веществами, переводящими синильную кислоту в неактивное состояние. Витамин В_{12a} (гидроксокобаламин) при взаимодействии с синильной кислотой замещает гидроксил на CN- группу, что приводит к образованию витамина В₁₂ [71].

Современные способы обработки льняного сырья также способствуют снижению содержания синильной кислоты (таблица 3.1) [269].

Таблица 3.1 – Влияние способа обработки льняного сырья на содержание HCN

| Способ обработки льняного сырья | Уменьшение содержания HCN, % |
|---------------------------------|------------------------------|
| Автоклавирование | 29,7 |
| Микроволновая обжарка | 83,7 |
| Гранулирование: | |
| Однократное | 13,3 |
| 3-кратное | 29,0 |
| 6-кратное | 54,9 |

С целью подтверждения пищевой безопасности семян льна и льняной муки, используемых нами в исследованиях, определяли содержание в них синильной кислоты в соответствии с действующим ГОСТ 13979.8-69. Полученные данные представлены в таблице 3.2.

В исследуемых образцах семян льна было определено 0,7-0,9% синильной кислоты от летальной дозы (35 мг на среднюю массу тела [421]), в образцах

льняной муки, соответственно, 1,7-2,2%. Полученные данные подтверждают безопасное содержание цианогенных гликозидов в используемых для исследований семенах льна и продуктах их переработки.

Таблица 3.2 – Содержание синильной кислоты в семенах льна и продуктах их переработки

| Наименование образца | Содержание HCN, мг/100г продукта |
|---|----------------------------------|
| Семена льна масличного промышленного производства (2017г) | 0,327±0,016 |
| Семена льна масличного, сорт Северный (2018г) | 0,262±0,013 |
| Семена льна масличного, сорт Omega, 2018г | 0,232±0,011 |
| Льняная мука промышленного производства, 2016г | 0,595±0,030 |
| Льняная мука промышленного производства, 2017г | 0,771±0,038 |
| Льняной жмых, 2016г | 2,29±0,11 |

Эксперты комиссии Food and Drug Administration (Управление по контролю за продуктами и лекарствами США) (FDA) считают, что наличие цианогенных гликозидов в семенах льна не вызывает каких-либо нежелательных побочных эффектов [272, 425]. Также этой же комиссией рекомендовано введение целых или измельченных семян льна в пищевые продукты до 12%. Это связано с возможностью ухудшения органолептических свойств продуктов и осложнения проведения технологических операций при более высоком содержании семян льна. При этом рекомендуемое ими суточное потребление семян льна составляет 16 г/день.

Льняное сырье помимо цианогенных гликозидов содержит в небольших количествах такие антиалиментарные вещества, как линатин, фитиновая кислота и ингибитор трипсина.

Линатин – высокомолекулярное соединение, являющееся в фармакологическом аспекте антагонистом витамина В₆, то есть ингибирует

усвоение пиридоксина (витамина В₆). Это высокомолекулярное соединение гидролизуется до фенолкарбонowego соединения с суммарной формулой C₁₆H₂₀O₉ [82]. Однако, в исследовательской практике не найдено влияние потребления продуктов и кормов с использованием льняного сырья и снижением витамина В₆, как у человека, так и у животных [404]. Так, например, уровень пиридоксина в сыворотке крови не изменялся при потреблении 45 г/день льняного семени в течение 5 недель [276].

Ингибитор трипсина найден в семенах льна в незначительных количествах. Его активность, определенная авторами [241], была в интервале 42-51 единиц, что составляет около 3% от активности соевых бобов (1650 ед.).

Фитиновая кислота оказывает на организм человека два противоположных эффекта. Она проявляет антиоксидантный, противоопухолевый, гипохолестерольный и гиполипидемический эффекты [369]. У человека и многих животных отсутствует пищеварительный фермент фитаза, поэтому входящие в состав фитина фосфаты и инзитол организмом не усваиваются [241]. Фитиновая кислота связывает белок и некоторые макро- и микроэлементы (K, Mg, Zn, Fe, Cu), что снижает их биодоступность.

В дрожжевом тесте фитин расщепляется под действием фитазы дрожжей и тем самым утрачивает свое ингибирующее действие на усвоение микроэлементов [166].

Авторами [276] выявлена значительная гетерогенность содержания фитиновой кислоты для сортов масличного льна (22,8-32,5 мкг/г), что свидетельствует о возможности селекционной работы с целью получения оптимального значения этого показателя.

Семена льна считаются нетоксичным лекарственным и пищевым сырьем. В научно-практической и медико-фармацевтической литературе отсутствует информация о выраженных побочных эффектах семян льна и их токсических свойствах.

3.3 Оценка эффективности введения семян льна в пищевые рационы

Семена льна являются сырьем с высоким содержанием веществ, необходимых для здорового питания, прежде всего, макроэлементов. 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 (таблица 3.3). Оценивали степень удовлетворения суточных потребностей в основных пищевых веществах при введении в рационы семян льна в количестве 100 г и 25 г (\approx 2 столовые ложки).

Следует отметить, прежде всего эффективность семян льна как источника полиненасыщенных жирных кислот ω -3 (ПНЖК ω -3). Двух столовых ложек семян льна достаточно, чтобы восполнить суточную потребность дефицитных ПНЖК ω -3. Добавление такого количества пищевого компонента 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. Содержание фосфора, участвующего во многих физиологических процессах, в том числе клеточной регуляции путем фосфорилирования ферментов, необходимого для минерализации костей и зубов, составляет в 2 столовых ложках семян льна 22% от рекомендуемого суточного уровня. Также высоко содержание магния – кофактора многих ферментов углеводно-фосфорного и энергетического обменов и необходимого для поддержания гомеостаза кальция, калия и натрия – свыше 25%, то есть четверти необходимого суточного количества.

Пищевой белок следует рассматривать как источник индивидуальных аминокислот. Оценка уровня аминокислот необходима для прогнозирования качества белка с точки зрения потенциальной способности пищевого белка обеспечить соответствующий рацион незаменимыми аминокислотами.

Таблица 3.3 - Оценка степени удовлетворения суточной потребности в основных веществах при введении семян льна в рационы питания

| Показатели | Содержание в семенах льна | | Суточная потребность для групп населения с различной физической активностью (I-IV группы) | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|-------|---|---|------------------|-----------------------|---|------------------|
| | | | мужчины | | | женщины | | |
| | | | рекомендуемый уровень | Степень удовлетворения суточной потребности при введении в рацион семян льна, % | | рекомендуемый уровень | Степень удовлетворения суточной потребности при введении в рацион семян льна, % | |
| | | | | 100г | 25г (2ст.л.) | | 100г | 25г (2ст.л.) |
| Энергия, ккал | 490 | 123 | 2150-3800 | 22,8-12,9 | 5,7-3,2 | 1700-3000 | 28,8-16,3 | 7,2-4,1 |
| Белок растительный, г | 22 | 5,5 | 37-57 | 59,5-38,6 | 14,9-9,6 | 60-90 | 36,6-24,4 | 9,2-6,1 |
| Жир, г, в том числе | 45 | 11,25 | 72-127 | 62,5-35,4 | 15,6-8,9 | 57-100 | 78,9-45,0 | 19,7-11,2 |
| МНЖК | 9 | 2,25 | 23-42 | 39,1-21,4 | 9,8-5,4 | 19-33 | 47,4-27,3 | 11,8-6,8 |
| ПНЖК: | 31,23 | 7,8 | 19-34 | 164-92 | 41,0-91,8 | 15-27 | 208-116 | 52,0-28,9 |
| ПНЖК ω-6 | 8,64 | 2,16 | 15-27 | 57,6-32,0 | 14,4-8,0 | 12-22 | 72,0-39,3 | 18,0-9,8 |
| ПНЖК ω-3 | 22,59 | 5,65 | 3,6-6,3 | 627-358 | 157-90 | 2,8-5,0 | 806-452 | 202-113 |
| Углеводы, г | 28 | 7 | 301-551 | 9,3-5,1 | 2,3-1,3 | 238-413 | 11,8-6,8 | 2,9-1,7 |
| Пищевые волокна, г | 6 | 1,5 | 20-25 | 30-24 | 7,5-6,0 | 20-25 | 30-24 | 7,5-6,0 |
| Минеральные вещества, мг | | | | | | | | |
| Кальций | 236 | 59 | 1000 | 23,6 | 5,9 | 1000 | 23,6 | 5,9 |
| Фосфор | 622 | 155 | 700 | 88,9 | 22,2 | 700 | 88,9 | 22,2 |
| Магний | 431 | 107,7 | 420 | 102,6 | 25,6 | 420 | 102,6 | 25,6 |
| Калий | 831 | 207,8 | 3500 | 23,7 | 5,9 | 3500 | 23,7 | 5,9 |
| Витамины, мг | | | | | | | | |
| Тиамин В ₁ | 0,53 | 0,13 | 1,5 | 35,3 | 8,8 | 1,5 | 35,3 | 8,8 |
| Рибофлавин В ₂ | 0,23 | 0,057 | 1,8 | 12,8 | 3,2 | 1,8 | 12,8 | 3,2 |
| Ниацин РР | 3,21 | 0,8 | 20 | 16 | 4 | 20 | 16 | 4 |
| Е-токоферол | 1 | 0,25 | 15 | 6,7 | 1,7 | 15 | 6,7 | 1,7 |

В настоящее время ФАО/ВОЗ рекомендует рассматривать аминокислоты как индивидуальные питательные вещества (нутриенты), указывая их количество в продуктах питания [257].

На основании усредненных данных ряда источников [200, 220, 402] по аминокислотному составу семян льна была рассчитана степень удовлетворения суточной потребности в незаменимых аминокислотах при введении этого сырья в рационы взрослого населения. Результаты представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – 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 [257] | | Содержание аминокислот в семенах льна г/100г продукта | Степень обеспечения сут. потребности взрослого человека при потреблении семян льна, % | |
|--|--|--------------|--|---|-----|
| | мг/кг веса | г/70 кг 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 | 129 | 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.

Для семян льна характерно высокое содержание триптофана и ароматических аминокислот (фенилаланина и тирозина), которые связаны с функцией щитовидной железы и надпочечников. Фенилаланин участвует в образовании тироксина – основного гормона щитовидной железы.

Уровень разветвленных аминокислот, валина, изолейцина и лейцина (ВСАА), выше 75% от суточной потребности каждой, что свидетельствует о достаточно высокой анаболической способности льняного белка. В частности лейцин, содержащийся в пищевом источнике протеина, способствует активации аппарата синтеза мышечного протеина [402].

С точки зрения питания качество белка определяется двумя факторами:

- 1) Относительные пропорции НАК в пище по отношению к потребностям человека в аминокислотах;
- 2) Степень перевариваемости, всасывания и доступности для синтеза белка в организме.

Классическим способом оценки качества белка пищевого продукта является расчет его аминокислотного сора. Аминокислота, сор которой имеет самое низкое значение, называется первой лимитирующей аминокислотой. Значение сора этой аминокислоты определяет биологическую ценность и, в определенной степени, степень усвоения белков.

Международными признанными современными методами оценки качества белка является метод определения аминокислотного сора с учетом усвояемости белка (PDCAAS) и последняя рекомендация экспертов ФАО/ВОЗ – метод оценки аминокислотного сора с учетом усвояемости каждой незаменимой аминокислоты DIAAS (The digestible (dietary) indispensable amino acid score) [257].

В таблице 3.5 представлены расчетные данные по аминокислотному сору льняного белка.

Таблица 3.5 – Оценка DIAAS льняного белка

| Показатели | Val | Pe | Leu | Lys | SAA* | AAA** | Thr | Trp | His |
|--|-----------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| ФАО/ВОЗ (подростки, взрослые) [447] | г/100г белка | | | | | | | | |
| | 4,0 | 3,0 | 6,1 | 4,8 | 2,3 | 4,1 | 2,5 | 0,7 | 1,6 |
| Семена льна [202] | 8,18 | 5,68 | 9,77 | 4,3 | 4,2 | 15,9 | 6,14 | 3,4 | 2,5 |
| Усвояемость аминокислот льняного белка, % | 79,8 | 82,3 | 80,6 | 73,9 | 77,6 | 84,7 | 73,5 | 70,5 | 76,4 |
| Аминокислотный скор с учетом усвояемости аминокислот, % | 142 | 156 | 129 | 66 | 142 | 328 | 180 | 342 | 119 |
| DIAAS семян льна | 66 (Lys) | | | | | | | | |

*сульфоаминокислоты (метионин + цистеин)

** ароматические аминокислоты (фенилаланин + тирозин)

Показатель DIAAS указывает на предельно возможный уровень использования азота индивидуального белка, в данном случае льняного, для пластических целей. Избыток других аминокислот будет использоваться для удовлетворения энергетических потребностей организма либо в качестве источника неспецифического азота [136].

С целью более полной характеристики льняного белка определяли ряд формализованных показателей, которые позволяют оценивать аминокислотный состав и его сбалансированность относительно эталонного состава незаменимых аминокислот, принятого ФАО/ВОЗ [257]. Полученные данные представлены в таблице 3.6.

Анализ показателей биологической ценности свидетельствует, что при значительной сумме незаменимых аминокислот льняной белок характеризуется высокой сопоставимой избыточностью аминокислот, не используемых на анаболические нужды.

Таблица 3.6 – Показатели биологической ценности льняного белка

| Показатель биологической ценности | Льняной белок |
|---|----------------------|
| Суммарное содержание незаменимых АК, г/100г белка | 60 |
| C_{\min} , (лизин)% | 90 |
| Коэффициент сбалансированности АК состава R_c | 0,44 |
| Коэффициент разбалансированности АК состава КРАС, % | 56,5 |
| Биологическая ценность (БЦ), % | 43,5 |
| Показатель сопоставимой избыточности σ , мг/г эталонного белка | 377 |
| Индекс незаменимых аминокислот ИНАК | 2 |
| Отношение Σ НАК к общему азоту белка (ОАБ) в 100 г белка, Σ НАК/ОАБ | 3,8 |

Наличие столь высокого содержания незаменимых аминокислот в льняном белке является основанием для его использования с целью улучшения аминокислотного состава пищевых белков злаковых культур, целенаправленного повышения содержания конкретных аминокислот в каких-либо профилактических или лечебных диетах.

Заключение к главе 3

Анализ рынка семян льна свидетельствует, что их востребованность стабильна благодаря высокому мировому спросу на пищевые семена льна и льняное масло для пищевой и химической промышленности. Производство масличного льна в России за последние 10 лет возросло: площадь посевов - более чем в 6 раз, валовые сборы – в 6,6 раз. Так, в 2020г. валовый сбор семян масличного льна в России достиг 648 тыс. т, что составило 24% от мирового производства этой культуры. Российские 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 в небольших для нашей страны объемах используются в производстве хлебобулочных, кондитерских изделий, функциональных и специализированных продуктов.

Несмотря на присутствие в семенах льна антипитательных факторов (цианогенные гликозиды, линатин, фитиновая кислота) теоретически и экспериментально на основании результатов определения синильной кислоты обосновано безопасное пищевое использование семян льна и льняной муки.

Оценка степени удовлетворения суточных потребностей в основных пищевых веществах при введении в рационы семян льна в количестве 100 г и 25г (\approx 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.

В настоящее время интерес представляют 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.

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.

Наличие столь высокого содержания незаменимых аминокислот в льняном белке является основанием для его использования с целью улучшения аминокислотного состава пищевых белков злаковых культур, целенаправленного повышения содержания конкретных аминокислот в каких-либо профилактических или лечебных диетах.

Глава 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.

Комплексное изучение процесса экстракции полисахаридов слизи из семян льна отечественной селекции, проводили традиционными стандартными химическими и современными оптическими методами.

Несмотря на широкие перспективы использования полисахаридов семян льна во многих областях народного хозяйства их промышленного производства в нашей стране нет. Это связано, прежде всего, с недостаточностью и глубиной научных исследований по получению полисахаридов из семян льна отечественных сортов,

особенностей их компонентного и фракционного состава, функционально-технологических свойств и их влияния на пищевые системы.

4.1 Исследование процесса экстракции полисахаридов из семян льна

Водная экстракция семян льна позволяет выделять в раствор нативные полисахариды с исходной молекулярной массой. Чаще всего полисахариды льняных слизей выделяют из целых семян льна. Вследствие того, что семена льна содержат значительное количество водорастворимых протеинов, которые могут экстрагироваться из ядра измельченных семян вместе с полисахаридами, сырье перед экстракцией не измельчают. Тем не менее, процесс выхода полисахаридов в раствор сопровождается параллельной экстракцией водорастворимых фракций белков, находящихся в оболочке семян льна. Поэтому в исследуемых образцах полисахаридных продуктов определяли также содержание белка.

На рисунке 4.1 представлены ИК- спектры исходных семян льна и после водной экстракции полисахаридов.

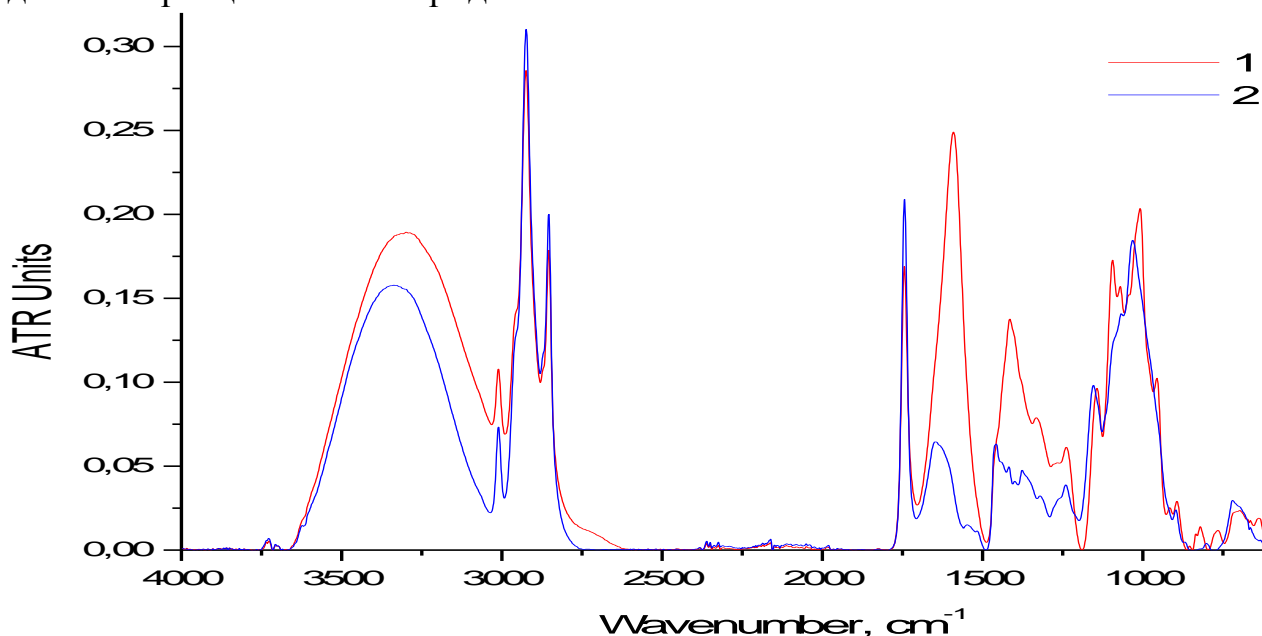


Рисунок 4.1- ИК-спектры семян льна: 1- исходные семена, 2- семена после водной экстракции (бесслизевые)

Как следует из рисунка 4.1 интенсивность основных полос спектра после экстракции снижается, однако типичные полосы, присущие липидам увеличиваются по интенсивности – это интенсивные полосы валентных (асимметричных и симметричных) колебаний CH_2 -групп ($2980\text{-}2830\text{ см}^{-1}$), увеличиваются слегка полоса 722 см^{-1} и полоса 1740 см^{-1} ($\text{C}=\text{O}$), в состав которых могут входить карбонилы, как свободных жирных кислот, так и карбонилы свободных аминокислот.

Видно вымывание белковых структур, вымываются водорастворимые углеводные компоненты, при этом заметно изменяется структура нерастворимых углеводов в составе семян после экстракции ($1480\text{-}1100\text{ см}^{-1}$).

Продуктами водной экстракции цельных семян льна были сухие полисахаридные экстракты и полисахаридные комплексы. Полисахаридные (ПС) 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. Их характеристики представлены в таблице 4.1. Сорта в таблице расположены по увеличению выхода ПС комплекса.

Таблица 4.1 – Характеристика некоторых сортов семян льна

| Характеристика семян льна | | | | Выход ПС комплекса % | Содерж. белка в ПС комплексе, % |
|---------------------------|---------------------------|------------|------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Сорт | Направление использования | Цвет семян | Содерж. белка, % | | |
| Цезарь | лен-долгунец | Коричнев | 23,13±1,15 | 3,00±0,15 | 8,01±0,40 |
| Omega | масличный | Желтый | 15,00±0,75 | 5,30±0,26 | 13,73±0,68 |
| Ленок | лен-долгунец | Коричнев | 21,25±1,06 | 5,50±0,27 | 7,51±0,37 |
| Ручеек | масличный | Коричнев | 20,29±1,01 | 5,68±0,28 | 10,92±0,55 |
| Северный | масличный | Коричнев | 19,80±0,99 | 5,68±0,28 | 8,24±0,41 |
| Дипломат | лен-долгунец | Коричнев | 25,81±1,29 | 6,09±0,30 | 7,85±0,39 |
| ЛМ-98 | масличный | Желтый | 24,25±1,21 | 6,12±0,30 | 7,86±0,39 |
| Алексим | лен-долгунец | Коричнев | 22,68±1,13 | 7,25±0,36 | 7,38±0,37 |

Вероятно, если учитывать, что экстракция проводилась в одинаковых условиях, можно предположить, что содержание белка в ПС комплексе

определяется внутренними структурно-функциональными связями, реологическими характеристиками компонентов, то есть сортовыми особенностями семян.

На рисунках 4.2 и 4.3 представлены ИК-спектры образцов полисахаридных продуктов, полученных из семян льна, характеристики которых указаны в таблице 4.1. Характер кривых светопоглощения, отличающихся практически только интенсивностью полос, указывает на идентичность качественного состава исследуемых полисахаридов.

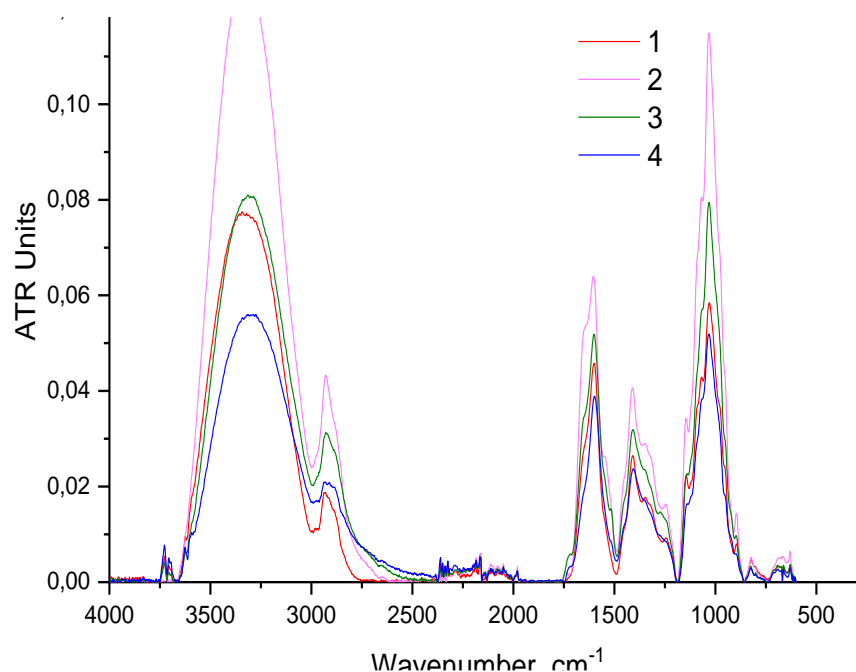


Рисунок 4.2 – ИК-спектры сухих образцов полисахаридных продуктов из семян масличных сортов Ручеек и ЛМ-98: 1 – ПС-комплекс ЛМ-98, 2 – ПС комплекс Ручеек, 3 – экстракт Ручеек, 4 – экстракт ЛМ-98

В спектрах всех образцов в области 3000-3500 см⁻¹ присутствует широкая интенсивная полоса, ответственная за проявление валентных (симметричных и асимметричных) колебаний NHn- и OH-группировок [142, 175] всех компонентов полисахаридных систем, содержащих эти функциональные группы, в том числе и OH-групп связанных молекул воды.

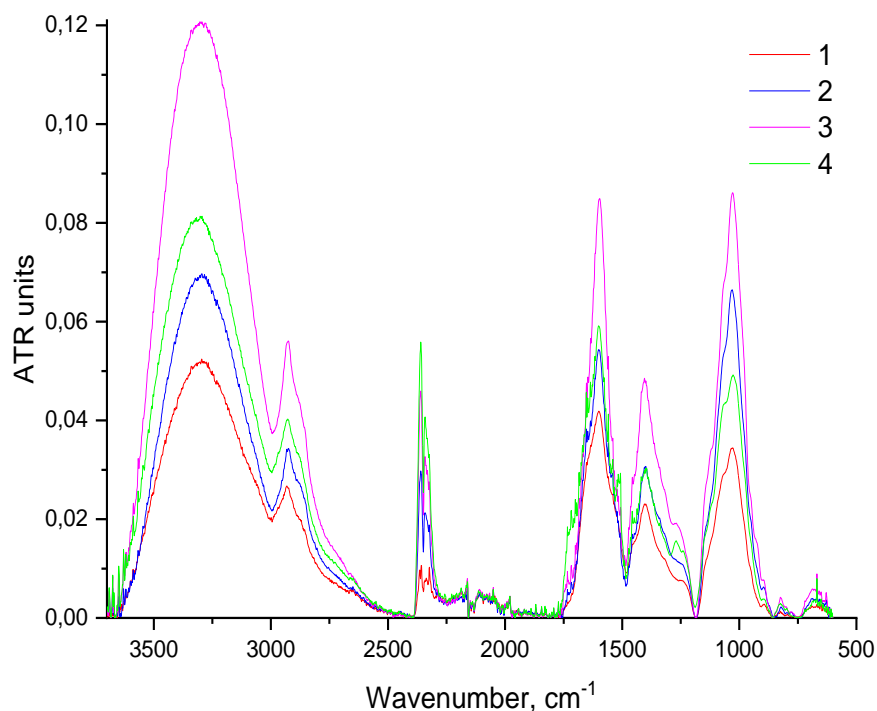


Рисунок 4.3 – ИК-спектры сухих полисахаридных экстрактов семян льна сортов: 1- Омега (масличные семена, Канада), 2 – Дипломат (лен-долгунец, Торжок), 3 – сорт Северный (масличные семена, Алтай), 4 – Ленок (лен-долгунец, Торжок)

Однако высокочастотный сдвиг максимумов именно этой полосы в спектрах очищенных полисахаридных комплексов (3326 см^{-1}) обоих сортов льна Ручеек и ЛМ-98 (рисунок 4.2) по сравнению с их неочищенными экстрактами (3298 см^{-1}) позволяет говорить, что он обусловлен присутствием белковых компонентов (в интервале частот $3280\text{--}3350\text{ см}^{-1}$ обычно проявляются валентные колебания связанных NH-групп однозамещенных амидов).

Высокочастотный сдвиг, скорее всего, обусловлен упрочением связи NH-группировок полипептидной цепи с функционалами углеводной, что согласуется с данными, полученными стандартными методами по определению вязкости анализируемых образцов. Колебания СН-групп, также всех компонентов, проявляются на спаде правой ветви высокочастотной полосы в области $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$. Деформационные колебания комплекса СН- и NH-функционалов обычно формируют серию полос разной интенсивности в диапазоне $1300\text{--}1500\text{ см}^{-1}$.

В данном случае наибольший интерес представляет широкая интенсивная структурированная полоса в области $1000-1100\text{ см}^{-1}$ с максимумом при 1031 см^{-1} , где регистрируются валентные колебания С-О и С-О-С-связей углеводов всех типов, как растительного, так и животного происхождения. А также две менее интенсивные полосы в области $1540-1680\text{ см}^{-1}$ – полосы валентных колебаний карбонильных С=О-группировок пептидной связи строительных блоков (аминокислот) белковых структур. Например, в ИК спектрах сухого препарата глюкозы и льняного масла данных полос нет (рисунок 4.4), но в спектре сухого препарата яичного альбумина она присутствует. То есть, наличие белков в составе исследуемых полисахаридных продуктов очевидно.

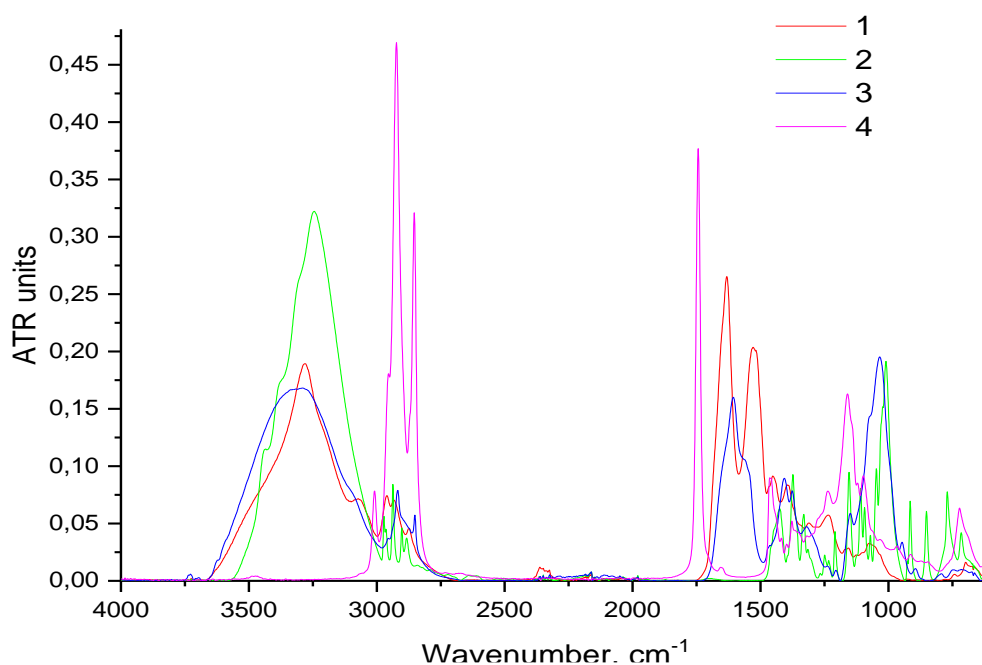


Рисунок 4.4 - ИК-спектры некоторых вспомогательных биологических веществ:
1 – яичный альбумин, 2 – глюкоза, 3 – гиалуроновая кислота, 4 – льняное масло

О присутствии липидных компонентов в структуре полисахаридных продуктов (рисунки 4.2 и 4.3) можно судить по низко лежащему плечу-пику на левой ветви углеводной полосы ($\sim 1160\text{ см}^{-1}$) и очень слабой полосе при 722 см^{-1} , характеризующей деформационные колебания СН-группировок при кратной связи ($\sigma_{=CH}$), что хорошо отражает спектр льняного масла (кр. 3 на рисунке 4.4). В его структуре отсутствует высокочастотная полоса, связанная с колебаниями NHn- и

ОН-групп, но хорошо проявлены в виде узких интенсивных полос в области 2800-3000 см^{-1} колебания СН-групп и валентные колебания С=О-групп остатков карбоновых кислот в составе триглицеридов (1743 см^{-1}). Наличие кратных С=C-связей в структуре льняного масла подтверждает присутствие в его спектре слабых полос, обусловленных валентными (3008 см^{-1}) и деформационными (722 см^{-1}), соответственно, колебаниями СН-групп при двойной связи (СН=СН). Не менее важной является полоса в виде трезубца с центральным максимумом при 1160 см^{-1} , характеризующая колебания С–О-связей в триглицеридах липидов растительного и животного происхождения.

Рассматриваемые образцы полисахаридных продуктов были получены при времени экстракции – 120 мин. Представляло интерес исследовать кинетику процесса экстракции: как интенсивно происходит при этом выделение растворимых веществ, в том числе и сопутствующих – белковых и липидных компонентов. С этой целью, в зависимости от экспозиции, определяли содержание сухого вещества экстракта, а также содержание в сухом экстракте протеина и жира. Рисунок 4.5 иллюстрирует характер изменения массы (%) сухого остатка, а фактически концентрации растворов полисахаридов льняных слизей в процессе экстракции. Некоторая ступенчатость в увеличении концентрации водных растворов слизей, вероятно, связана с последовательным набуханием и переходом в раствор различных фракций слизиобразующих полисахаридов

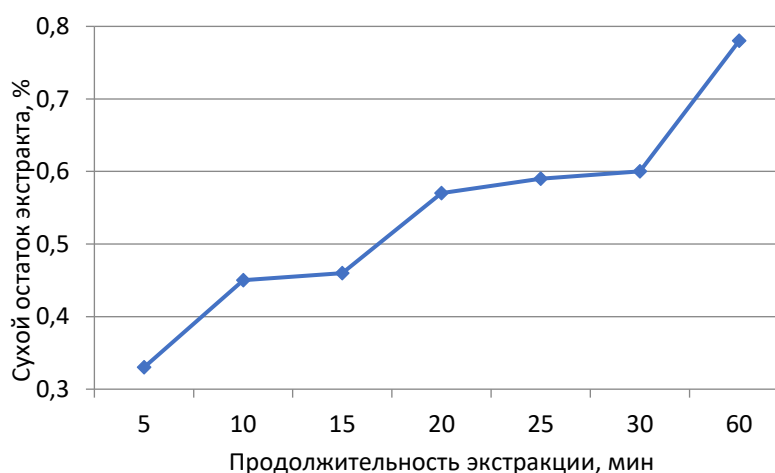


Рисунок 4.5 – Изменение сухого остатка экстракта в зависимости от продолжительности процесса

Последними, как считают авторы [51], гидратируются наиболее высокомолекулярные полисахариды, локализующиеся во внутренних слоях оболочки семени и в эндосперме.

Следует отметить, что экстракция из оболочки семян льна протекает в течение 30 минут. Последующее увеличение сухого вещества экстракта после 30 минут протекания процесса можно объяснить тем, что к этому времени набухшая оболочка частично отходит от ядра и в раствор начинают переходить экстрактивные вещества из эндосперма и ядра. Полученные данные коррелируют с результатами исследований, представленными в работе [441]. Авторы установили, что при 80°C оптимальная продолжительность процесса экстракции полисахаридов слизей из семян льна была 30 мин. При этом содержание сухого вещества составляло 0,7 %. При 60°C содержание сухого вещества за аналогичное время проведения процесса составило $\approx 0,6$ % (рисунок 4.5).

Водная экстракция полисахаридов сопровождается переходом в раствор водорастворимых белков: альбуминов и глобулинов. Особенно актуально это для семян льна, так как их белковый комплекс содержит большое количество водорастворимых протеинов [200]. Поэтому выделение льняных слизей проводят либо из неразрушенных семян, либо из льняной оболочки, чтобы ослабить конкурентную экстракцию белков из ядра. Изменение содержания белка и жира в сухих экстрактах в зависимости от времени процесса представлено на рисунке 4.6.

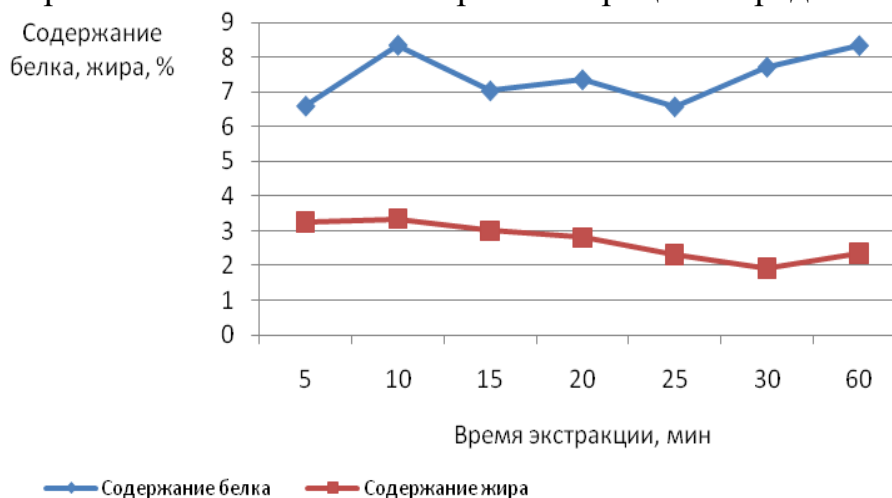


Рисунок 4.6 – Изменение содержания белка и жира в сухом экстракте в зависимости от продолжительности процесса

Практически максимальное нарастание количества белка в сухом экстракте наблюдается в первые 10 минут протекания процесса. Известно, что в первую очередь экстрагируются вещества с более низкой молекулярной массой [51].

С точки зрения фракционного состава – кислая фракция полисахаридного комплекса семян льна имеет меньшую молекулярную массу по сравнению с нейтральной. Также считается, что белок большей частью связан с полимерами кислой фракции. В нейтральной фракции он не обнаружен [316]. Поэтому можно предположить, что первыми из семян льна экстрагируются в основном полимеры кислой фракции. Следует отметить, что в сухих экстрактах полисахаридов присутствует небольшое количество липидных компонентов (рисунок 4.6), вероятно также ассоциированных с полисахаридными и белковыми структурами.

Следует еще раз отметить, что, анализируя собственные и литературные данные из разных источников, можно считать, что процесс экстракции протекает ступенчато, начиная с выхода в раствор низкомолекулярных фракций и заканчивая высокомолекулярными. При этом все исследованные фракции в различном количестве содержали протеиновые компоненты.

Результаты исследования кинетики процесса экстракции методом ИК-спектроскопии, приведенные на рисунке 4.7, показали, что интенсивность полос в ИК-спектрах образцов в области $1540-1680\text{ см}^{-1}$, полученных при различной продолжительности экстракции, коррелировала с содержанием в них общего белка, измеренного химическими методами.

Было сделано предположение, что фракции, выходящие в раствор в первые 10 минут, содержат максимальное количество протеиновых веществ (8,6%). Следующий пик увеличения содержания общего белка (17%) можно объяснить его выходом непосредственно из ядра, так как оболочка семян набухает и частично соскальзывает с него. О присутствии протеиновых составляющих во всех продуктах экстракции из цельных семян льна – как в сухих экстрактах полисахаридов, так и в очищенных полисахаридных комплексах свидетельствует уширенная структурированная полоса $1540-1680\text{ см}^{-1}$.

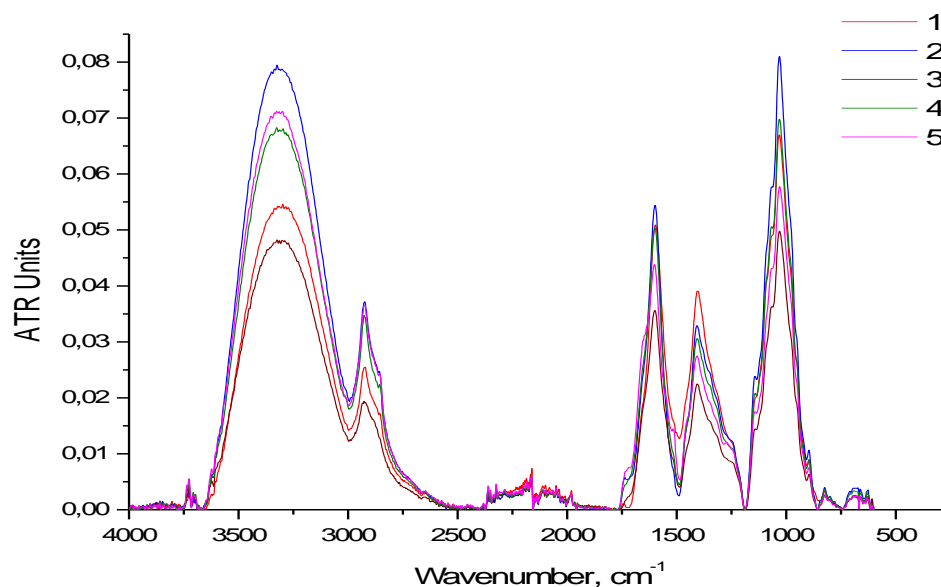


Рисунок 4.7 – ИК-спектры сухих экстрактов семян льна в зависимости от продолжительности экстракции: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25 минут

Однако сопоставление спектров полученных продуктов экстракции со спектром яичного альбумина (кр. 1 рисунок 4.4), позволяет говорить о том, что при водной экстракции в условиях эксперимента из семенной оболочки цельных семян льна извлекаются полисахариды, содержащие в своем составе полипептидные фрагменты разного состава и, возможно, размера. Подтверждением этому предположению является увеличение фрагмента данного участка спектров (рисунок 4.8).

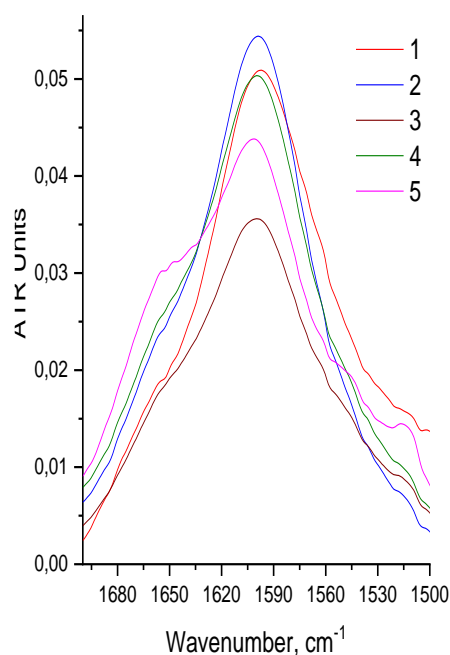


Рисунок 4.8 – Фрагмент спектров из рисунка 4.5: продолжительность экстракции: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25 минут

Все образцы имели одну полосу с плавающими в области 1595-1605 см^{-1} в разной степени структурированными максимумами. Следует отметить, что, в отличие от остальных, только в спектре образца 5 (25 минут экстракции) на правой и левой ветвях глобального максимума, четко проявляются две недифференцированные полосы в виде структурированного плеча (примерно, 1670 и 1520 см^{-1}).

Это, в свою очередь, может указывать на разную прочность связи, как вымываемых полисахаридных сегментов, так и протеиновых составляющих, которая снижается с увеличением длительности контакта образца с растворителем.

Сопоставление характера изменения интенсивности основных полос ИК-спектров, представленных на рисунке 4.9, с данными по содержанию белка (рисунок 4.6) свидетельствует о том, что его максимум приходится на образец, выделенный после 10 минут экстракции.

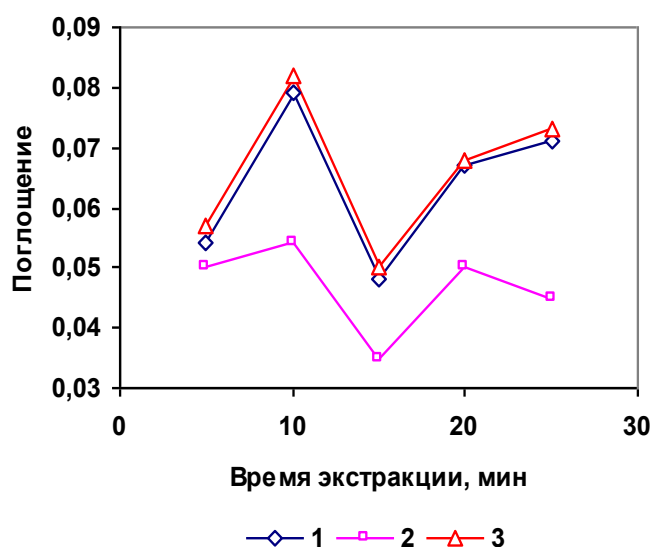


Рисунок 4.9 – Изменение интенсивности характеристических полос в ИК-спектрах образцов сухих экстрактов полисахаридов в зависимости от продолжительности экстракции: 1 – 3326; 2 – 1597; 3 – 1031 см^{-1}

Дальнейшее снижение концентрации белка в сухих экстрактах полисахаридов вероятно связано с тем, что на определенном этапе экстрагируются другие вещества. С течением времени оболочка семян льна в воде разбухает и частично соскальзывает с ядра, что приводит к экстракции белка уже из ядра. В результате начинается второй рост концентрации белка в экстракте.

На рисунке 4.10 представлены результаты рефрактометрического анализа водных растворов сухих экстрактов полисахаридов (масса навески – 0,0250 г, объем растворителя – 10 мл) на содержание в них глюкозы в зависимости от времени экстракции.

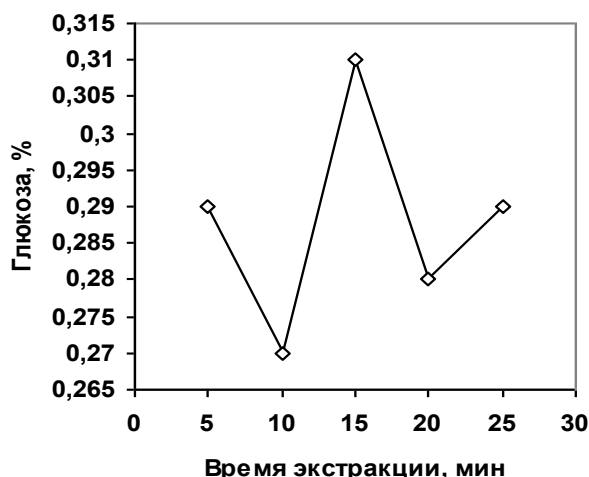


Рисунок 4.10 - Рефрактометрические показатели изменения содержания глюкозы в сухих экстрактах полисахаридов в зависимости от продолжительности экстракции

Если сопоставить полученную зависимость с той тенденцией, что наблюдается при изменении интенсивности полос в ИК-спектрах этой серии сухих образцов (рисунок 4.7), они выглядят зеркально.

При сравнительном анализе данных, полученных методами рефрактометрии и ИКС НПВО, оказывается, что с увеличением содержания глюкозы в образце, убывает количество белкового компонента, что в принципе согласуется с результатами химического анализа, которые иллюстрирует рисунок 4.6. Очевидно, это означает, что в рассматриваемый промежуток времени имеет место последовательный выход в водный раствор сначала белково-полисахаридных ассоциатов (10 минут), представляющих кислую фракцию, а затем (15 минут), непосредственно полисахаридных структур с меньшим содержанием белка.

Изменение таких показателей, как сухой остаток полисахаридного экстракта, содержание в нем белка и глюкозы позволяет предположить, что ступенчатое увеличение содержания сухого вещества экстрактов свидетельствует о постепенном переходе в раствор различных фракций слизиобразующих полисахаридов. Комплексное исследование химическими и оптическими методами

изменения содержания белка и глюкозы в зависимости от времени экстрактивного процесса показало, что он имеет полиэкстремальный характер и сопровождается последовательным выходом в раствор полисахаридных ассоциатов с разным содержанием белка. Причем в первую очередь (10 минут) экстрагируются полисахаридные комплексы с наиболее высоким содержанием белковых структур и минимальным глюкозы.

Следует отметить, что время экстрактивного процесса – 30 мин, является оптимальным для получения целевого полисахаридного продукта с содержанием протеина 7,9% и липидов – 2,0%.

Полученные данные являются научной основой для модификации параметров выделения полисахаридных продуктов из семян льна и 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 в качестве монокомпонентов.

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

Полисахариды семян льна рассматриваются как источник растворимых пищевых волокон – незаменимого функционального пищевого ингредиента, а также технологической добавки для регулирования структуры пищевых масс (стабилизатора, структурообразователя, водо- и жирудерживающего агента и пр.). Их функциональные свойства, влияющие на пищевые системы, возможно, являются результатом синергетического эффекта, проявляемого в комплексе с протеинами [375]. Функционально-технологические свойства полисахаридных продуктов из семян льна также определяются и соотношением фракций, которое

зависит от условий их получения. Например, в исследованиях авторов [315] при увеличении температуры экстракции до 90°C соотношение нейтральной и кислой фракций уменьшалось с 6,7 до 5,7. При этом снижались такие свойства полисахаридных продуктов как водоадсорбционная способность и эмульсионная активность.

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 промышленного льна при разных температурах и рН. Схема эксперимента приведена в таблице 4.2.

На первом этапе водную экстракцию проводили при комнатной температуре, время – 60 мин. Из отделенного от семян экстракта избытком спирта высадили полисахаридный комплекс ПСК-1. На втором этапе остаток семян (первичный шрот) подвергли повторной водной экстракции при температуре 70°C, время – 60 мин. Из отделенного от вторичного шрота экстракта избытком спирта высадили ПСК-2. Остаток семян после второй экстракции – вторичный шрот (этап II, таблица 4.2) подвергли третьей водной экстракции при рН 4, время – 1 час, температура 40°C (этап III). Из отделенного экстракта высадили избытком спирта ПСК-3. Содержание общего белка в выделенных продуктах указано в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Условия водной экстракции семян льна и характеристика конечных продуктов

| № этапа | Условия экстракции | Продукт экстракции полисахаридные комплексы, ПСК | Содержание белка в продукте, % |
|---------|--|--|--------------------------------|
| I | T - 20°C, t – 60 мин, рН - 7 Высаживание в избытке спирта | ПСК-1 | 2,40±0,12 |
| II | T - 70°C, t – 60 мин, рН - 7 Высаживание в избытке спирта | ПСК-2 | 10,20±0,51 |
| III | T - 40°C, t – 60 мин, рН - 4 Высаживание в избытке спирта | ПСК-3 | 25,42±1,27 |

Для данной серии образцов в ИК-спектрах конечных продуктов (полисахаридных комплексов) просматривается логическая связь с количеством общего белка, если анализировать только полосу 1750-1500 cm^{-1} , то есть структурированную полосу валентных колебаний С=О-групп протеиновых компонентов (рисунок 4.11). Но по этой полосе отмечены и существенные качественные различия между исследуемыми продуктами. Образцы ПСК-2 и ПСК-3 имеют в своих спектрах два четко дифференцированных максимума разной интенсивности и хорошо структурированное плечо одинаковой интенсивности на правой ветви первых максимумов. В спектре образца ПСК-1 наблюдается один узкий максимум сравнительно низкой интенсивности, отвечающий по положению плеча на самых интенсивных максимумах образцов ПСК-2 и ПСК-3.

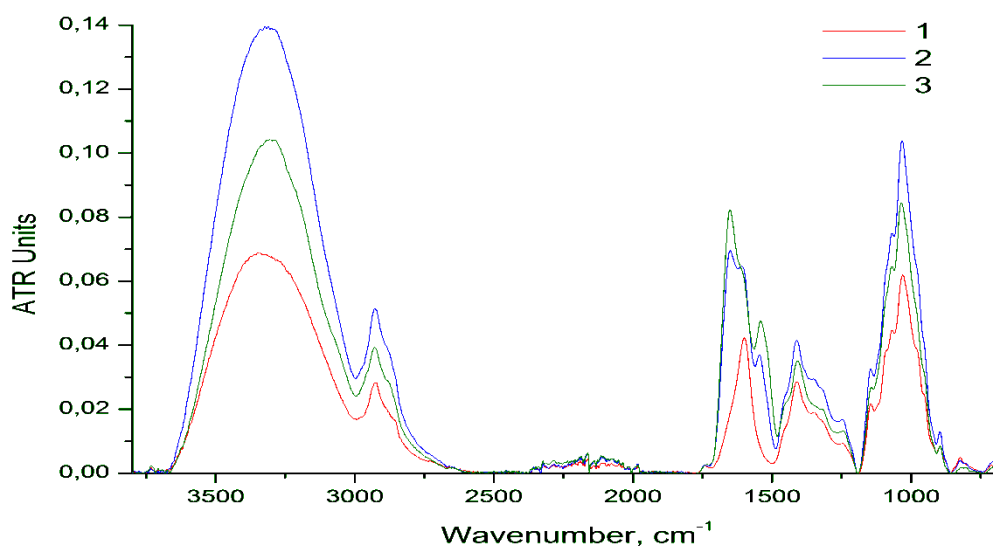


Рисунок 4.11 – ИК-спектры образцов ПС-комплексов – продуктов последовательной экстракции семян льна: 1 - ПСК-1 (2,4 % белка); 2 - ПСК-2 (10,2 % белка); 3 - ПСК-3 (25,4 % белка)

При сохранении общего контура полисахаридных полос 1030 cm^{-1} , их интенсивности в спектрах образцов ПСК-2 и ПСК-3 меняют свое относительное расположение по сравнению с последовательностью кривых в полосе протеиновых компонентов. Более интенсивную полосу имеет образец ПСК-2. Следует отметить, что данная последовательность в расположении спектральных кривых этих образцов сохраняется и в полосах: 3500–2750 и 1500–1250 cm^{-1} , характеризующих

валентные и деформационные колебания CH_n -, NH_n - и OH -групп. Все полосы в спектре образца ПСК-1 имеют самую низкую интенсивность, но полосы колебаний данных функциональных групп в его спектре смещены в более высокочастотную область, что указывает на более прочную связь и может предположительно говорить о более прочной или компактной структуре этого образца.

При этом повышение температуры и снижение рН среды экстракции способствуют увеличению содержания белковых веществ в полисахаридных продуктах.

С целью изучения перспектив проведения дополнительного цикла процесса экстракции, после отделения первичных экстрактов и проведения повторной обработки шротов, были получены ПС-комплексы – продукты вторичной экстракции. Условия и результаты проведения обоих циклов экстракций представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Условия экстракции и содержание белка в продуктах первичной и вторичной экстракции из семян льна промышленного

| № опыта | Условия первичной экстракции | Продукты первичной экстракции (ПС-комплексы) | Условия вторичной экстракции | Продукты вторичной экстракции (ПС-комплексы) | |
|---------|------------------------------------|--|--|--|---------------------|
| | | Содержание белка, % | | Наименование | Содержание белка, % |
| I | $T - 90^\circ\text{C}, t - 10$ мин | 8,6 | $T - 70^\circ\text{C}, t - 60$ мин | Образец 1 | 17,0 |
| II | $T - 22^\circ\text{C}, t - 60$ мин | 6,3 | Высаживание в избытке этилового спирта | Образец 2 | 10,2 |

На рисунке 4.12 представлены ИК-спектры продуктов первичной и вторичной экстракции, а на рисунке 4.13 – ИК-спектры продуктов вторичной экстракции.

Спектральные показатели свидетельствуют, что продукты первичной и вторичной экстракции имеют некоторые различия в форме основных полос и наблюдается идентичность спектров продуктов каждого вида экстракции. Между собой они отличаются в основном интенсивностью основных полос.

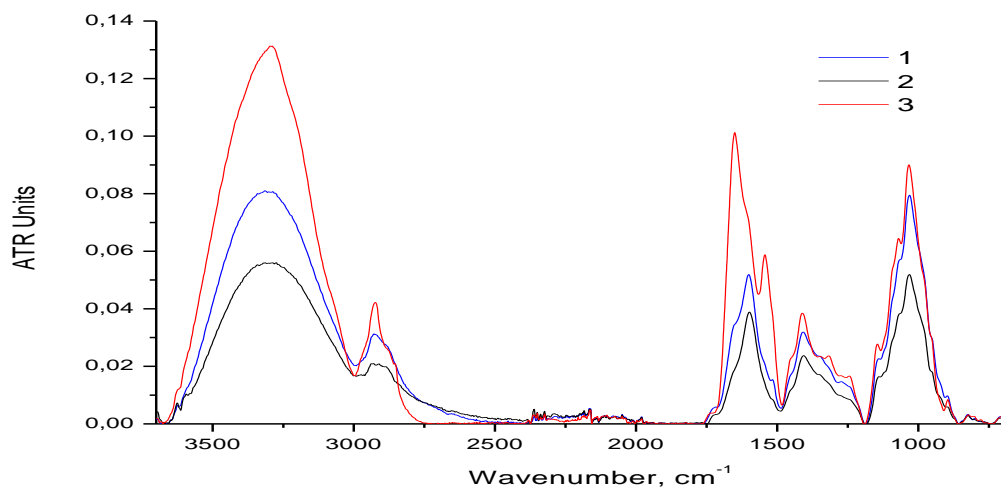


Рисунок 4.12 – ИК-спектры продуктов экстракции из двух сортов семян льна: 1 – первичный ПС-экстракт семян сорта Ручеек; 2 – первичный ПС-экстракт семян сорта ЛМ-98; 3 - вторичный ПС-экстракт из шрота семян льна сорта Ручеек

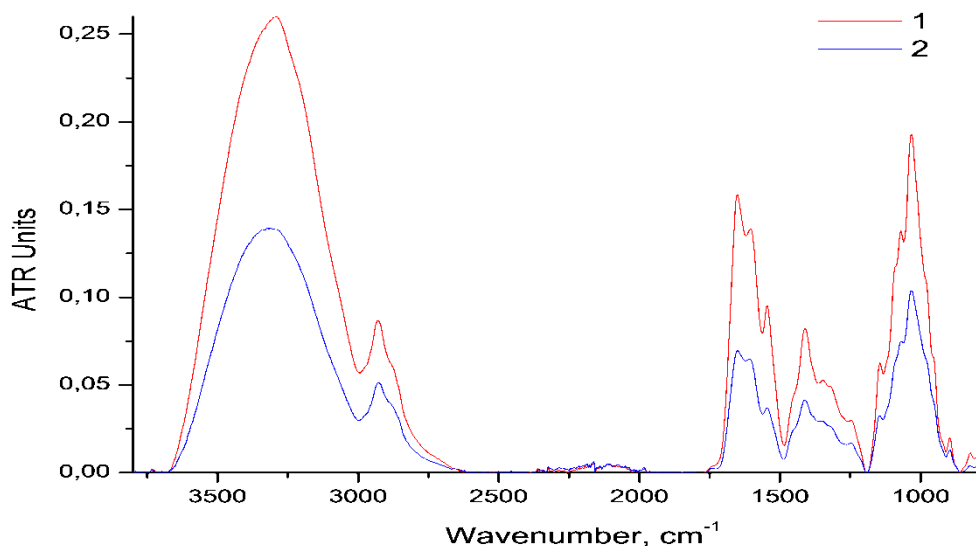


Рисунок 4.13 - ИК-спектры образцов ПС-комплексов вторичной экстракции семян льна сорта Ручеек в нейтральной среде: 1 – 17,0; 2 – 10,2 % белка

В структуре протеиновой полосы обоих образцов вторичной экстракции (рисунок 4.13) присутствуют хорошо выраженные три максимума. Данный экспериментальный факт может свидетельствовать о возможности, по меньшей

мере, трех форм связи полипептидных фрагментов с полисахаридной матрицей в зависимости от условий проведения процесса. Выход и разнообразие белковых веществ при вторичной экстракции увеличиваются.

Таким образом, на содержание протеиновой составляющей в полисахаридных экстрактах и их комплексах влияют: рН среды, температура, продолжительность и последовательность этапов технологического процесса; повышение температуры экстракции и снижение рН среды способствуют значительному повышению (в 5-10 раз) содержания белковых веществ в полисахаридном продукте;

- эти же технологические параметры во многом определяют соотношение долей, прочность и механизм химической связи, по меньшей мере, трех видов полипептидных структур с полисахаридной матрицей; это наглядно проявляется в варьировании интенсивности, формы, рисунка структуризации и положения максимумов в составе полосы в области $1700-1500\text{ см}^{-1}$, 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

Условия технологических процессов при переработке растительного сырья: механические, физические, химические факторы влияют на состояние его компонентов, например усиливают структурные перестройки белков, которые могут вызывать разрушение нативных белково-липидных взаимодействий. В свою очередь липиды, подвергаясь окислительной порче, в конечном итоге снижают качество конечных продуктов [136].

В исследованиях продуктов переработки семян льна большой интерес представляют спектральные изменения в области проявления структуры белков. Изменения положения и величины спектральных сдвигов полос групп Амид I

(1600-1700 cm^{-1}) и Амид II (1630 – 1510 cm^{-1}) являются маркерными для детектирования изменений в частотах колебаний связей полипептидной цепи [175, 325]. При этом большое значение имеют не только положения максимумов полос, но и их интенсивность и форма.

С целью изучения изменений в компонентном составе, происходящих в процессе переработки семян льна, проводили сравнительный анализ ИК-спектров его анатомических частей, а именно оболочки и ядра описание которых представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Характеристика продуктов переработки семян льна

| Образец | Описание сырья | Описание образца | Содержание белка в образце, % |
|------------|--|---|-------------------------------|
| Об1 | <i>Семена льна обрушенные</i> | Оболочка семян льна измельченная | 15,80±0,79 |
| Об2 | <i>Оболочка семян льна после водной экстракции слизи, высушенная, измельченная</i> | Оболочка семян льна бесслизевая | 16,51±0,83 |
| Я1 | <i>Семена льна обрушенные</i> | Ядро семени льна измельченное | 22,16±1,11 |
| Я2 | <i>Ядро семени льна обезжиривали экстракцией гексаном</i> | Ядро семени льна обезжиренное, измельченное | 34,13±1,71 |

Сравнительный анализ ИК-спектров семенных оболочек и ядер

Сравнительный анализ ИК-спектров двух сухих образцов измельченных оболочек семян промышленного льна (рисунок 4.14) показал, что после удаления слизи все основные полосы становятся более четкими и интенсивными. Увеличиваются: структурированная полоса в области поглощения углеводов (1100–1000 cm^{-1}), комплекс полос, характеризующих колебания C-H_n -группировок всех компонентов (3000–2850 cm^{-1}), полосы валентных и деформационных колебаний (3008 и 720 cm^{-1} , соответственно) C-H -групп при кратных связях ($=\text{C-H}$). Возрастает интенсивность характеристичных полос Амид I и Амид II в области

поглощения карбониллов (C=O) белковых составляющих ($1680\text{--}1500\text{ см}^{-1}$) и карбониллов карбоксильных группировок в области $1748\text{--}1740\text{ см}^{-1}$ аминокислот и кислот жирного ряда липидных компонентов. Исключение составляет один небольшой, но достаточно хорошо дифференцированный максимум при 1710 см^{-1} . Он заметно уменьшается после удаления слизи, но в спектре остается в виде небольшого выступа.

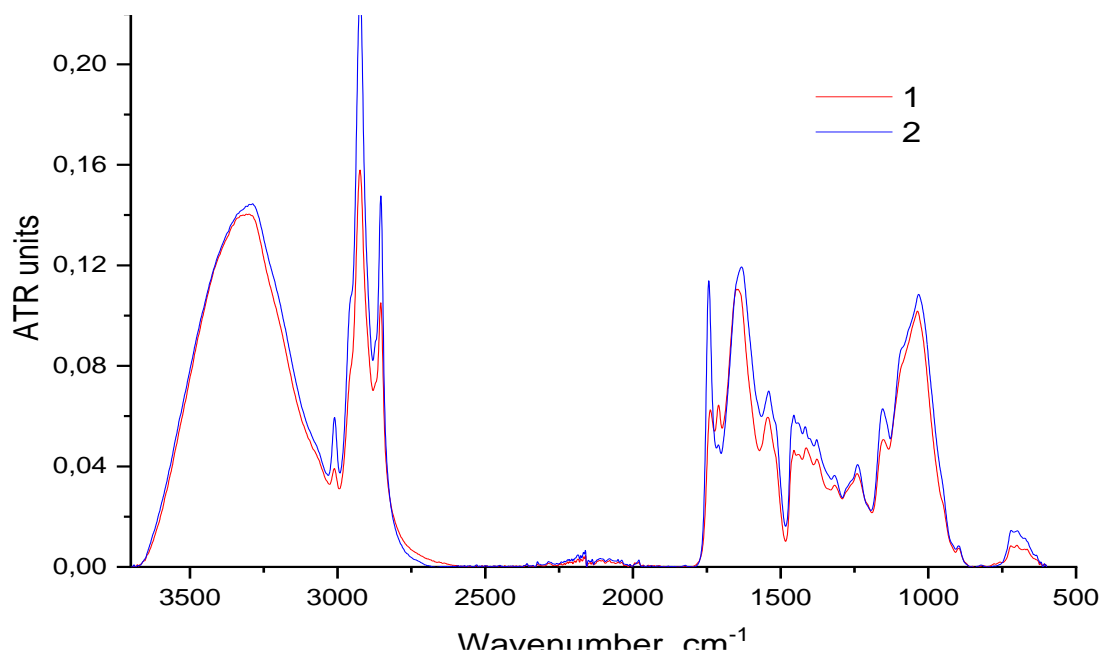


Рисунок 4.14 – ИК-спектры сухих измельченных образцов семенной оболочки:
1 – Об1 (исходные); 2- Об2 (после удаления слизи)

Известно, что основная масса белка и жира находится в ядре семян льна, а также и то, что процессы обезжиривания могут влиять на состояние других его компонентов. На рисунке 4.15 приведены ИК-спектры измельченных исходных ядер семян льна и подвергнутых обезжириванию гексаном. Обезжиривание немного снижает интенсивность всех полос, за исключением белковых, которые в спектрах обоих образцов ядра хорошо выражены. Небольшое увеличение их интенсивности может быть связано с освобождением функциональных группировок после частичного разрушения связей с липид-полисахаридными структурами.

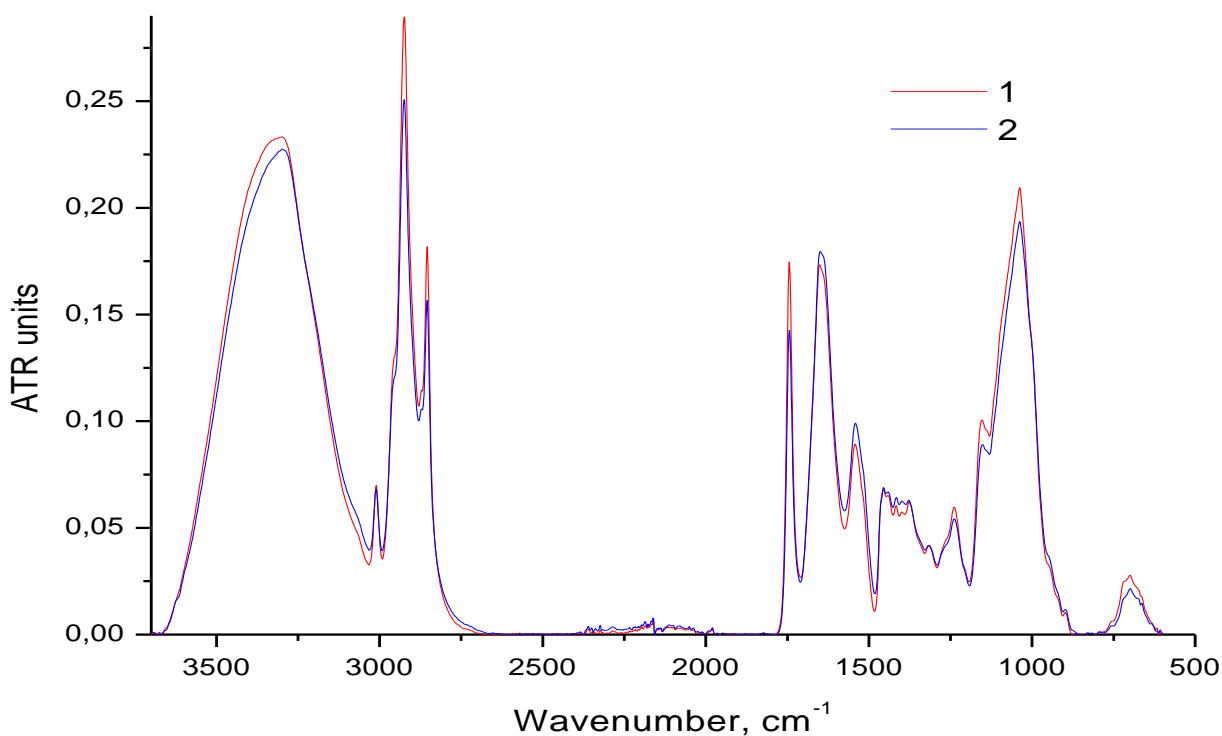


Рисунок 4.15 – ИК-спектры измельченных образцов ядер семян льна:
1 – Я1(исходные); 2 – Я2 (обезжиренные)

Очевидно, что обезжиривание гексаном, в данном случае, не затрагивает белковый комплекс семян льна. Кроме того, скорее всего при этом удаляются преимущественно насыщенные и частично мононенасыщенные кислоты жирного ряда. Об этом свидетельствует заметное снижение интенсивности полос асимметричных и симметричных колебаний метиленовых групп при 2927 и 2956 см^{-1} , соответственно; полосы 1743 см^{-1} и небольшое снижение полосы деформационных колебаний =СН-групп (722 см^{-1}). О том, что процесс, по-видимому, практически не затрагивает полиненасыщенные жирные кислоты, позволяет судить близость в обоих спектрах интенсивности полос 3008 см^{-1} , характеризующих валентные колебания СН-групп при двойных связях (СН=СН) в структурных блоках ненасыщенных липидных компонентов.

По характеру рисунка ИК-спектры исходных образцов ядра и оболочки, представленные для сравнения на рисунке 4.16, в общем, практически аналогичны и отличаются, в основном, интенсивностью полос. В составе ядра преобладают все основные компоненты - белки, липиды, углеводы. В ИК спектре ядра четко обозначены две классические Амидные полосы в области 1700 – 1500 см^{-1} и

липидная полоса 1748 см^{-1} , которая по интенсивности значительно выше, чем у оболочки. В оболочке тоже присутствуют две Амидные полосы, однако первая полоса, практически при том же положении, отличается от первой полосы ядра. Ее максимум намного шире, что может свидетельствовать о большей неоднородности компонентов, чьи колебания привели к ее уширению. Поскольку на отделенную оболочку не было никаких воздействий можно предположить, что здесь присутствуют нативные пептиды совместно с отщепленными фрагментами белковых структур. Качественно основное отличие состоит в наличии в спектре оболочки слабого пика 1710 см^{-1} , который предположительно может принадлежать к более прочным короткоцепочечным пептидам и связанным с ними липидным компонентам.

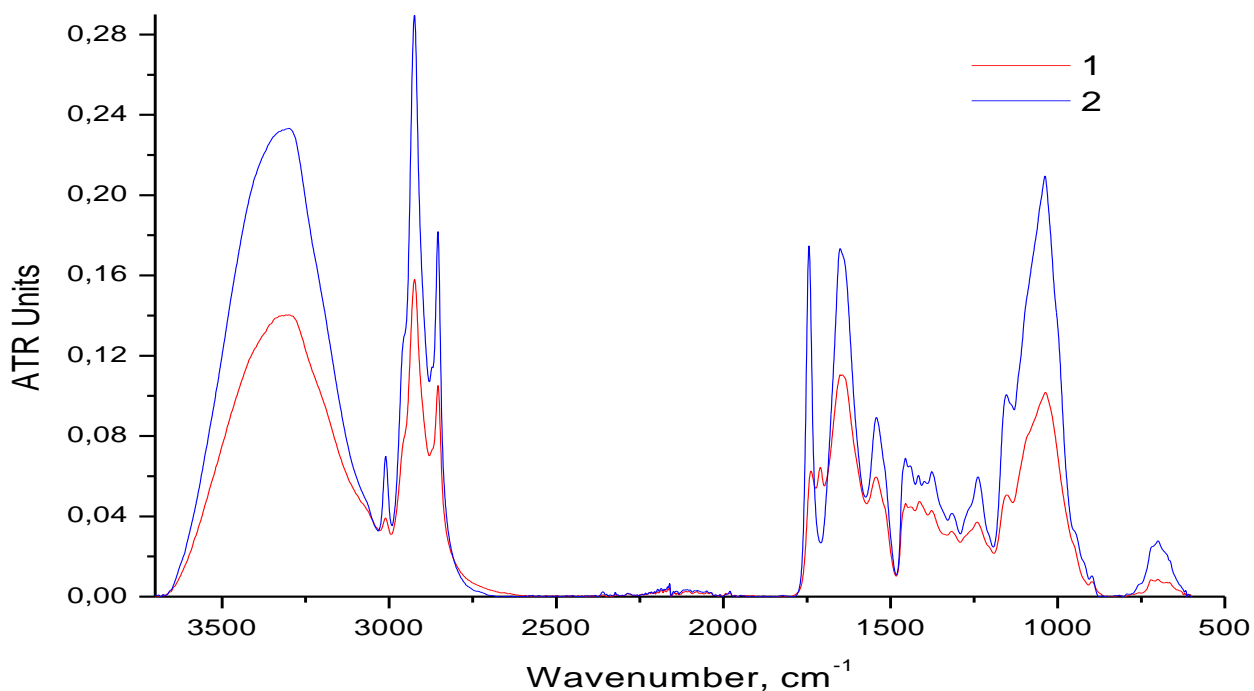


Рисунок 4.16 – ИК-спектры исходных образцов семенной оболочки и ядра семян льна: 1- ОБ1, 2 – Я1

Более детальное рассмотрение увеличенных фрагментов из рисунков 4.14–4.16 в области, где проявляют себя белковые компоненты (рисунок 4.17) позволяет отметить ряд более тонких моментов, которые раскрывает язык спектров. По своему положению полоса 1710 см^{-1} ("а") в спектре исходной семенной оболочки может быть отнесена к карбонилам карбоксильных групп полипептидов,

частичное удаление которых из оболочки со слизью, приводит к ее снижению, батохромному смещению первого белкового максимума из положения 1647 см^{-1} в положение 1632 см^{-1} и появлению в нем асимметрии. Вторая полоса (1543 см^{-1}) также смещается в более низкочастотную область в положение 1540 см^{-1} , что в обоих случаях указывает на ослабление связей.

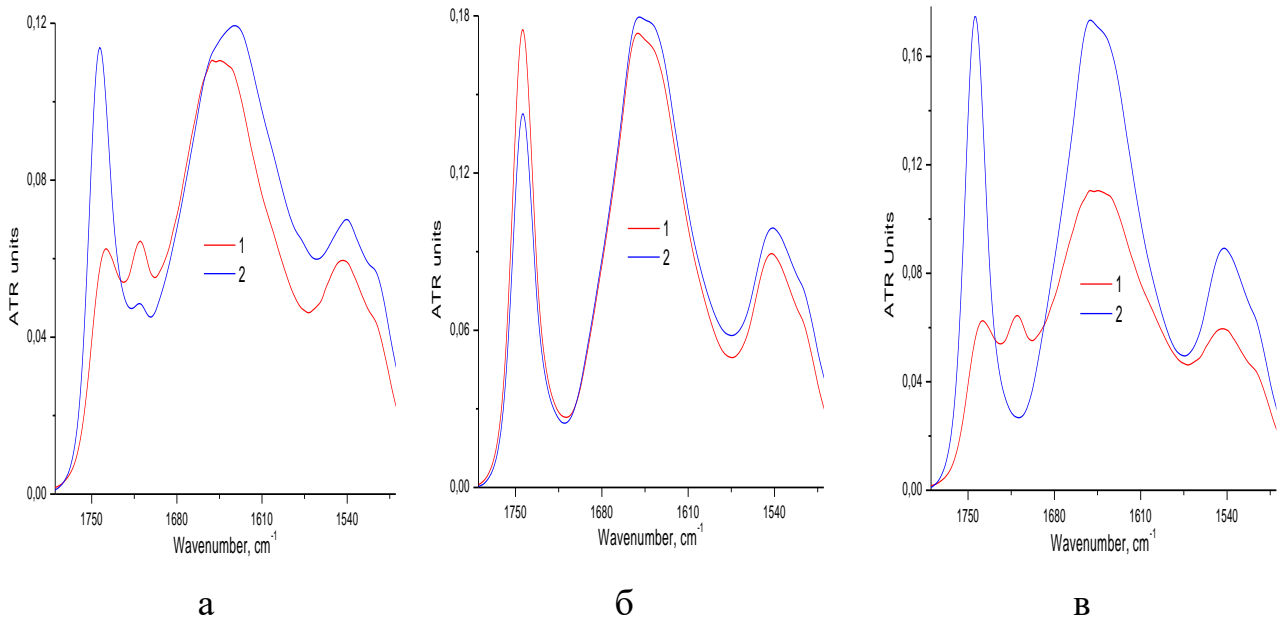


Рисунок 4.17 – Фрагменты ИК-спектров в области $1750\text{--}1500\text{ см}^{-1}$: а) оболочек 1- Об1 и 2- Об2; б) ядер 1- Я1 и 2- Я2; в) 1 – оболочки Об1, 2 – ядра Я1

Следует отметить, что поскольку обработка ядер семян льна гексаном не затрагивает протеиновые компоненты ("б"), положение первого максимума отвечает 1640 см^{-1} и его асимметрия противоположна асимметрии максимума в спектре семенной оболочки, из которой полипептиды были извлечены. Положение и структура максимумов в спектрах исходных оболочки и ядра семян льна ("в") подтверждают наблюдаемый факт.

Полисахаридные продукты

К полисахаридным продуктам, ИК-спектры которых представлены на рисунке 4.18, относятся сухие полисахаридные комплексы (ПС комплексы) и сухие полисахаридные экстракты, выделенные из неразрушенных семян льна двух сортов отечественной селекции.

Из цельных семян экстракцию проводили в течение 30 минут, и по времени экстракции, как было показано выше, процесс извлечения протекает

преимущественно из семенной оболочки. В обоих случаях, как в спектрах экстрактов, так и очищенных комплексов, в области $1540\text{--}1680\text{ см}^{-1}$ наблюдается одна уширенная структурированная полоса, в отличие от дублета полос Амида-1 и Амида-2, которые непременно присутствуют в спектрах всех истинных белков (рисунок 4.17 (б)) [173]. На правой и левой ее ветвях наблюдаются плечи разной степени выраженности и интенсивности.

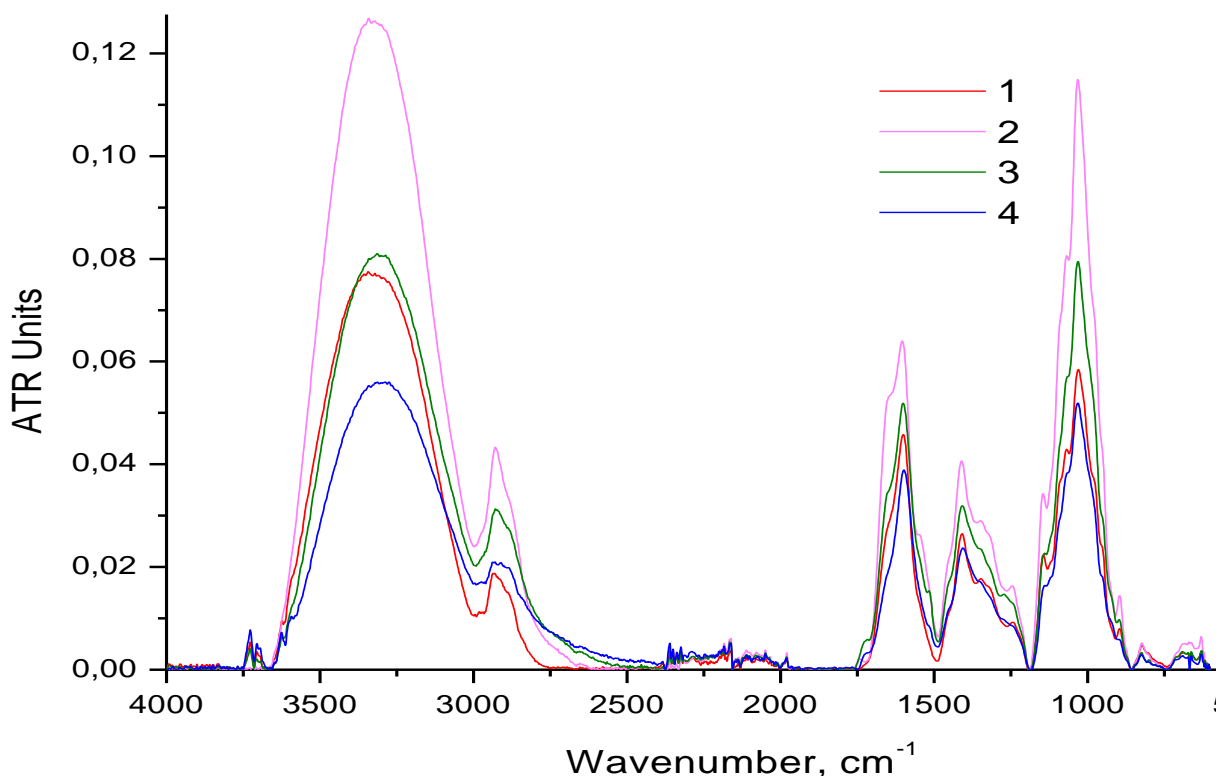


Рисунок 4.18– ИК- спектры полисахаридных продуктов из семян льна: 1 – ПС комплекс семян ЛМ 98, 2 – ПС-комплекс из промышленных семян льна, 3–сухой экстракт из промышленных семян льна, 4–сухой экстракт из семян ЛМ 98

Отмеченный экспериментальный факт позволяет с большей уверенностью говорить о том, что в слизевых продуктах оболочки цельных семян льна преобладают полипептидные компоненты, спектральный образ которых отличается от спектрального проявления белковых структур. Кроме того, различия в структуре рассматриваемых полос данных образцов говорит о большем разнообразии химических связей протеин–полисахарид в составе ПС-экстракта из семян льна промышленного. В его спектре на правой и левой ветвях центрального максимума хорошо вырисовываются полосы в области 1660 и 1540

см⁻¹, которые слабо проявлены в спектре ПС-экстракта семян льна сорта ЛМ-98. Полисахаридная полоса в спектрах всех образцов тоже, в общем, имеет близкий рисунок, в основном различаясь по интенсивности и наличию плечей разной степени выраженности.

На рисунке 4.19 представлены ИК-спектры образцов комплексов, полученных водной экстракцией из измельченных и целых семян льна.

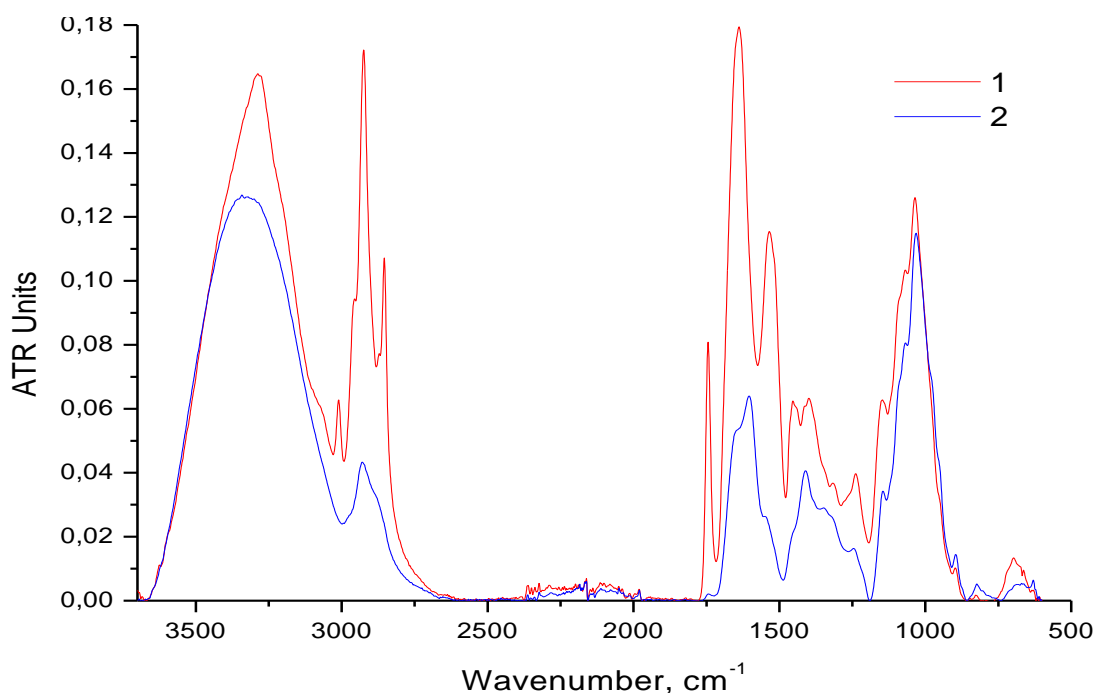


Рисунок 4.19 – ИК-спектры сухих образцов комплексов, полученных водной экстракцией из: 1 – измельченных, 2 – цельных семян льна

Помимо того, что спектр комплекса, полученного из измельченных семян, расположен существенно выше, он заметно отличается и по форме большинства полос. Наиболее показательное различие в областях проявления протеиновых структур и СНп-группировок. В спектре комплекса, полученного из измельченных семян, протеины представлены двумя полосами, типичными для белковых структур Амид-I и Амид-II, в то время как в спектре ПС-комплекса, выделенного из цельных семян, присутствует одна структурированная полоса. Узкий максимум 3240 см⁻¹ в спектре образца 1 четко указывает на наличие NH-группировок пептидных связей в структуре его белков. Аналогичная ситуация наблюдается и в областях 3010–2800, 1743 и 722 см⁻¹, говорящих о том, что в

полисахаридных комплексах измельченных семян содержится значительное количество ненасыщенных липидных компонентов.

Конечные продукты, выделенные при водной экстракции из цельных и измельченных семян льна отличаются по содержанию основных нутриентов, а именно белков и липидов, о чем свидетельствуют данные таблицы 4.5.

Таблица 4.5 – Характеристика продуктов водной экстракции семян льна

| Сырье | Характеристика продуктов | |
|--------------------------|---|-----------------------|
| | Содержание белка, % | Содержание липидов, % |
| Цельные семена льна | Полисахаридные (ПС) комплексы и сухие экстракты | |
| | 3,0 – 8,0 | 2,0 – 6,0 |
| Измельченные семена льна | Белок-полисахарид-липидные (БПСЛ) комплексы и экстракты | |
| | 32,0 – 37,0 | 28,0 – 36,0 |

По содержанию компонентов продукты водной экстракции из измельченных семян льна больше соответствуют белок-полисахарид-липидным (БПСЛ) комплексам, в отличие от полисахаридных (ПС) комплексов, полученных из цельных семян льна.

Белковые концентраты

Белковые концентраты – образцы Б5 и Б6, были получены из льняного шрота, обработанного разными способами (таблица 4.4). Содержание белка в образцах: Б5 – 55,8%, Б6 – 61,5%.

Таблица 4.5 - Сырье и характеристика белковых концентратов

| Образец | Описание сырья | Описание образца | Содержание белка в образце, % |
|---------|--|-----------------------------|-------------------------------|
| Б5 | Шрот 1 получен дополнительным обезжириванием гексаном промышленного льняного жмыха | Концентрат белка из шрота 1 | 55,80±2,79 |
| Б6 | Шрот 2 получали из семян льна последовательно удаляя из семян льна слизь и липиды | Концентрат белка из шрота 2 | 61,50±3,08 |

ИК-спектры белковых концентратов Б5 и Б6 представляет рисунок 4.20. Хотя их спектры и близки по общей структуре полос, однако весь спектр образца Б6 расположен значительно выше, что, по-видимому, объясняется не только более

высоким содержанием в нем белка, но и процедурой предварительного удаления слизи. В образцах отмечено небольшое содержание липидных и полисахаридных остатков.

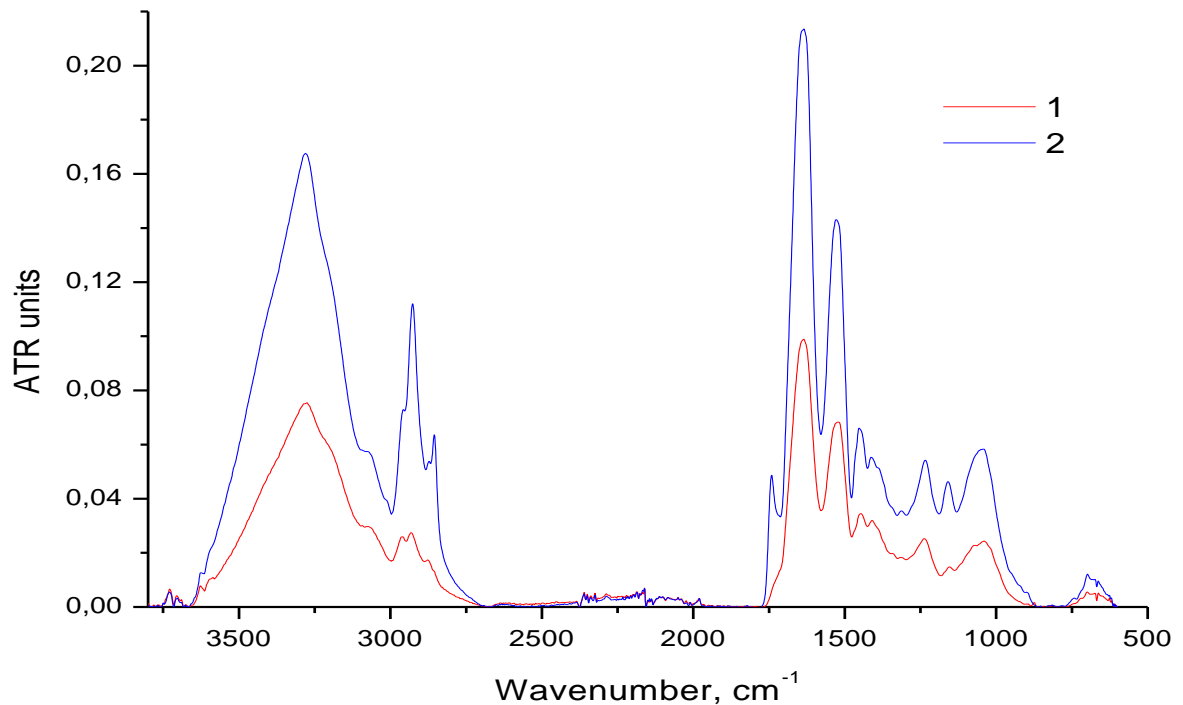


Рисунок 4.20 - ИК-спектры образцов сухих белковых концентратов:
1 – Б5, 2 – Б6

Интенсивность четких белковых полос коррелирует с содержанием в них белка. В спектре образца Б5, полученного из дополнительно обезжиренного жмыха, в отличие от Б6, отсутствует пик 1743 см^{-1} , в состав которого, помимо аминокислот, входят валентные колебания $\text{C}=\text{O}$ -группировок карбоксильных функционалов жирных кислот липидов. Кроме того, несколько более высокое содержание остатков липидных компонентов в образце Б6 подтверждают более интенсивные полосы колебаний CH_2 -группировок ($3000\text{--}2850\text{ см}^{-1}$) и небольшой острый пик (722 см^{-1}) деформационных колебаний $=\text{CH}$ -групп.

Исследования продуктов переработки семян льна после ряда различных технологических операций, проведенные методом ИКС НПВО показали:

– спектральные различия образцов ПС-экстрактов и очищенных ПС-комплексов, полученных водной экстракцией из цельных, измельченных семян льна и промышленного жмыха, определяют в основном качественный состав протеинов в семенной оболочке и ядре семян льна. Дублет полос Амид-I

и Амид-II ($1700\text{--}1500\text{ см}^{-1}$), характерный для белковых структур, наблюдался в спектрах образцов, полученных из ядер, измельченных семян льна, белковых концентратов и обрушенной семенной оболочки. В спектрах образцов, полученных из слизи цельных семян, независимо от сорта сырья, дублет Амидов отсутствовал, его заменяла одиночная уширенная структурированная полоса ($1680\text{--}1540\text{ см}^{-1}$), характерная для полипептидных компонентов;

– извлечение полисахаридов слизей из оболочки цельных семян методом водной экстракции сопровождается выходом в раствор в основном полипептидных структур, которые заметно различаются по своим спектральным характеристикам от белковых;

- обезжиривание гексаном измельченных ядер семян и ПС-комплексов не затрагивает белковые компоненты, но отражается на структуре липид-полисахаридных ассоциатов;

- анализ ИК-спектров белковых концентратов, полученных из промышленного жмыха после «холодного» прессования и из семян льна после последовательной водной экстракции слизей и удаления липидов гексаном, показало идентичность спектров по структуре полос, интенсивность которых коррелировала с содержанием белка.

Спектроскопическое исследование показало разнообразие протеин-полисахаридных взаимодействий при переработке семян льна.

В таблице 4.5 представлена характеристика продуктов водной экстракции из семян льна по содержанию белка.

Полученные результаты свидетельствуют, что водная экстракция в зависимости от способа обработки сырья позволяет получить ряд пищевых ингредиентов с различным содержанием таких нутриентов, как белки, полипептиды, полисахариды. Из неразрушенных семян льна, либо отделенной оболочки можно выделить полисахариды, связанные с полипептидами семян льна, которые в свою очередь характеризуются высокой биологической активностью [375, 426].

Таблица 4.5 – Распределение белка в продуктах водной экстракции из нативных и переработанных семян льна

| 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 |
| | Продукт, содержащий белки не осаждающиеся в ИЭТ | 38-42 |

Из льняных жмыхов и шротов, варьируя параметры процесса, мы получили продукты с различным содержанием протеина, связанного с полисахаридами. Функционально-технологические свойства таких продуктов в значительной степени определяются соотношением их белковой и полисахаридной части.

4.4 Изучение реологических свойств полисахаридных продуктов

Полисахариды льняной слизи проявляют различные реологические свойства в зависимости от сорта, методов экстракции и их выделения из растворов, а также методов измерений.

С целью исследования реологических свойств экстрактов и растворов полисахаридов семян льна определяли их вязкость. Для определения кинематической и динамической вязкости использовали нативные экстракты полисахаридов. Данные представлены в таблице 4.6. В соответствии с полученными данными, высокой вязкостью обладали нативные экстракты полисахаридов слизей семян льна масличного сорта ЛМ-98. Их вязкость более чем в 2 раза превышала аналогичные показатели экстрактов полисахаридов, выделенных из других сортов семян льна.

Таблица 4.6. – Вязкость экстрактов льняных слизей, выделенных из семян льна разных сортов

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

В отличие от других исследованных сортов эти семена имеют светлую окраску (желтый цвет). Следует отметить, что желтые семена по сравнению с коричневыми обладают большим количеством арабиноксиланов с большей молекулярной массой, а у большинства коричневых – больше кислых полисахаридов (пектинов), характеризующихся меньшей молекулярной массой [140, 251]. Учитывая известные данные, высокая вязкость экстрактов полисахаридов слизей желтосемянного сорта ЛМ 98 свидетельствует о преобладании высокомолекулярных арабиноксиланов. Наименьшей вязкостью характеризовались экстракты, выделенные из семян льна-долгунца сорта Дипломат.

Кинематическую и динамическую вязкость определяли также для 0,2%-ных растворов полисахаридных комплексов, выделенных из слизей семян указанных сортов, результаты представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Кинематическая и динамическая вязкость 0,2%-ных растворов полисахаридов семян льна

| Сорт семян | Кинематическая вязкость γ , мм ² /с | Динамическая вязкость $\eta 10^{-3}$ МПа·с |
|-----------------------------|---|--|
| Лен масличный, сорт ЛМ-98 | 8,92±0,27 | 8,88±0,27 |
| Лен-масличный, сорт РУЧЕЕК | 8,43±0,25 | 8,40±0,25 |
| Лен-долгунец, сорт ЛЕНОК | 7,76±0,23 | 7,72±0,23 |
| Лен-долгунец, сорт ДИПЛОМАТ | 7,11±0,21 | 7,08±0,21 |

Аналогичный тренд изменения вязкостных характеристик наблюдался и у 0,2%-ных растворов полисахаридных комплексов, выделенных из семян исследуемых сортов.

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных полисахариды слизи семян льна исследованных сортов по вязкостным характеристикам экстрактов и 0,2%-ных растворов можно расположить в следующий ряд: ЛМ-98 > Масличные (промышленные) > Ленок > Дипломат.

При исследовании растворов полимеров используются такие реологические характеристики, как относительная, удельная, приведенная и характеристическая вязкость.

Приведенную вязкость определяли в разбавленных растворах в интервале концентраций 0,0625 – 0,11% в воде и в 0,1М растворе NaCl. Характеристическую вязкость $[\eta]$ полисахаридных комплексов определяли экстраполяционным методом концентрационных зависимостей приведенной вязкости.

С целью определения влияния растворителя при получении полисахаридных комплексов определяли концентрационные зависимости приведенной вязкости для полисахаридов, экстрагированных в воде и 1% растворе NaCl. Результаты представлены на рисунке 4.21. При измерении вязкости в качестве растворителя использовали дистиллированную воду.

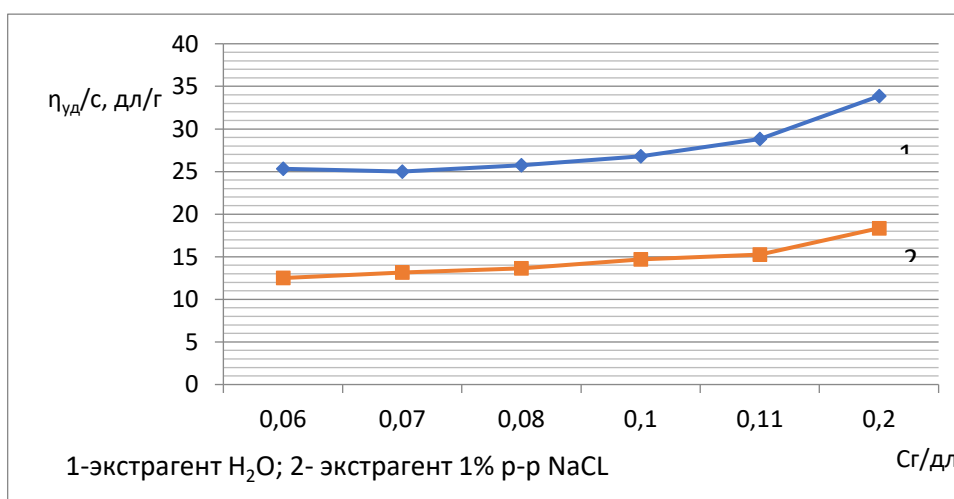


Рисунок 4.21 – Влияние экстрагента на вязкостные характеристики полисахаридных комплексов

Из полученных данных следует, что значения приведенной вязкости полисахаридных комплексов, экстрагированных в воде значительно выше, чем этот показатель для полисахаридных комплексов, экстрагированных в солевом растворе.

Для сравнительного исследования полисахаридных комплексов, выделенных из разных сортов семян льна определяли приведенную вязкость как функцию концентрации их водных растворов. Полученные данные представлены на рисунке 4.22.

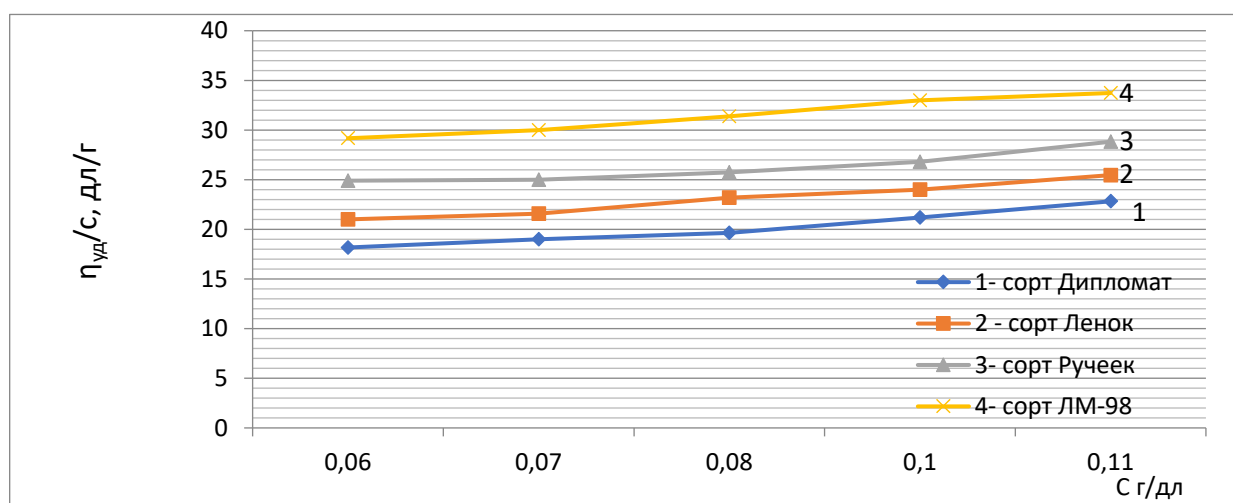


Рисунок 4.22 – Концентрационные зависимости приведенной вязкости водных растворов полисахаридных комплексов, выделенных из семян льна разных сортов: 1 – сорт ДИПЛОМАТ (лен-долгунец); 2 – сорт ЛЕНОК (лен-долгунец); 3 – сорт РУЧЕЕК (масличный); 4 – сорт ЛМ-98 (масличный)

Как следует из полученных результатов вязкостные характеристики водных растворов ПС комплексов изменялись в таком же порядке, как и показатели вязкости нативных экстрактов из различных сортов, представленных в таблице 4.6.

Для растворов полимеров вязкость является функцией молекулярных масс, размеров и гибкости макромолекул, а также зависит от природы растворителя. Определяли характеристическую вязкость ПС комплексов из различных сортов семян льна в наиболее популярных в пищевой промышленности растворителях: воде, растворах NaCl и сахарозы. Показатели представлены на рисунке 4.23. Было

обнаружено, что величина $[\eta]$ в воде значительно выше, чем в растворах NaCl для всех исследуемых образцов. Характеристическая вязкость в растворе NaCl снижалась на 70-80% по сравнению с водными растворами этих же образцов. Следует отметить, что межсортные изменения в величине характеристической вязкости водных растворов варьировались в пределах 40%, тогда как значения этого показателя в солевом растворе для этих же образцов были близки, что наглядно видно на диаграмме рисунка 4.23.

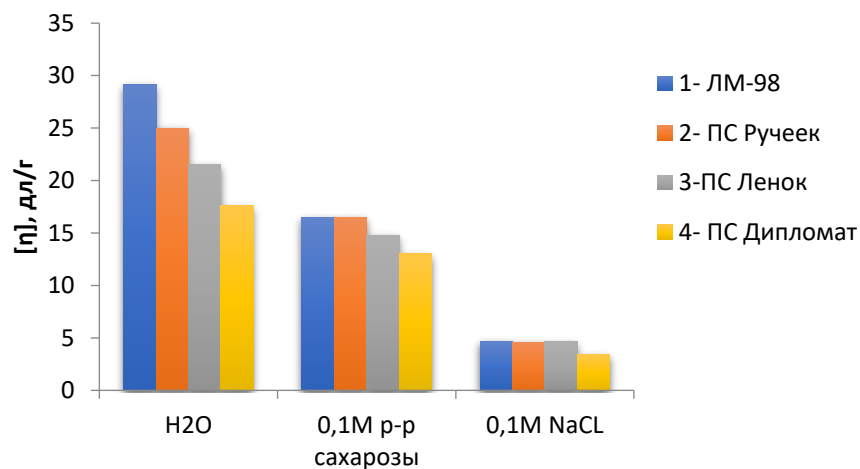


Рисунок 4.23 – Характеристическая вязкость ПС комплексов из некоторых сортов льна в различных растворителях

Вероятно, характеристическая вязкость полимеров уменьшается с увеличением ионной силы растворителя из-за ослабления внутри и межмолекулярного электростатического притяжения, которое удерживает макромолекулы в нативной форме.

С целью оценки взаимодействия полимер-растворитель определяли константу Хаггинса (k'), которая зависит от молекулярного веса и свойств системы полимер – растворитель и может служить характеристикой интенсивности взаимодействия полимера с растворителем. По графику зависимости $\eta_{уд}/C = f(C)$, находили значение $[\eta]$ по экстраполяции к нулевому значению концентрации C , а также значение A_1 как тангенса угла наклона прямой $A_1 = \text{tg } \beta$. По этим данным

рассчитывали константу Хаггинса: $k' = A_1/[\eta]^2$. Данные по определению k' приведены в таблице 4.8.

В целом, с увеличением характеристической вязкости (вероятно, с большей молекулярно-массовой дисперсией) константа Хаггинса уменьшалась, что свидетельствует об уменьшении взаимодействий между макромолекулами. Константа Хаггинса зависит от молекулярного веса и свойств системы полимер-растворитель и может служить характеристикой интенсивности взаимодействия с растворителем.

Таблица 4.8 – Характеристическая вязкость и Константа Хаггинса ПС комплексов, выделенных из семян льна различных сортов

| Образец | Растворитель – H ₂ O | | Растворитель – 0,1 М р-р NaCl | |
|-----------------------------|---------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| | [η] дл/г | k' | [η] дл/г | k' |
| Лен масличный, сорт ЛМ-98 | 28,9±0,58 | 0,038 | 4,40±0,09 | 0,900 |
| Лен-масличный, сорт РУЧЕЕК | 24,2±0,48 | 0,073 | 4,51±0,09 | 0,988 |
| Лен-долгунец, сорт ЛЕНОК | 21,0±0,42 | 0,118 | 4,40±0,09 | 2,570 |
| Лен-долгунец, сорт ДИПЛОМАТ | 17,0±0,34 | 0,062 | 3,60±0,07 | 1,310 |

При малой величине k' вероятность сцепления и образования ассоциатов в растворе снижается, растворитель в этом случае считается более «хорошим» с термодинамической точки зрения. Значения этого показателя возрастают с ухудшением термодинамического качества растворителя [24].

Эффективность использования полисахаридных продуктов определяется их поведением в различных средах. Например, сахароза, вследствие высокой водоудерживающей способности, затрудняет набухание полисахаридов в воде и может оказывать влияние на вязкость растворов исследуемых полисахаридов. Для оценки реологического поведения полисахаридных продуктов определяли их характеристическую вязкость в указанных средах (таблица 4.9).

Таблица 4.9 - Характеристическая вязкость ($[\eta]$ мл/г) полисахаридных продуктов в различных растворителях

| Растворитель | ЛМ-98 | | РУЧЕЕК | | Пектин [η] мл/г |
|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|
| | [η] мл/г | | | | |
| | ПС- комплекс | сухой экстракт | ПС- комплекс | сухой экстракт | |
| H ₂ O | 2890±144 | 550±27 | 2420±121 | 720±36 | 510±25 |
| 0,1М р-р сахарозы | 1650±82 | 520±26 | 1647±82 | 608±30 | 442±22 |
| 0,1М р-р NaCL | 440±22 | 175±9 | 451±22 | 228±11 | 126±6 |

Для сравнения реологического поведения была определена также характеристическая вязкость пектина промышленного производства в этих же растворителях. Как следует из полученных данных, характеристическая вязкость всех исследуемых продуктов в зависимости от растворителя изменялась одинаковым образом. Наибольшее значение вязкости было характерно для водных растворов, наименьшее – для солевых. Полисахариды льняной слизи обладали значительно большей величиной вязкости, и, следовательно, молекулярным весом по сравнению с промышленным пектином.

Таким образом, было установлено, что:

- вязкость экстрактов и водных растворов полисахаридов слизи семян льна варьировалась в широких пределах в зависимости от сорта, окраски, природы растворителя;

- характеристическая вязкость полисахаридных комплексов и сухих полисахаридных экстрактов семян льна снижалась в следующем ряду растворителей: вода > 0,1 М раствор сахарозы > 0,1М раствор NaCL;

- характеристическая вязкость полисахаридов, полученных из желтых семян сорта ЛМ 98, имела самое высокое значение, по сравнению с другими исследуемыми сортами семян льна коричневой окраски;

- константа Хаггинса возрастала с уменьшением вязкости растворов полисахаридов.

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

Полисахариды в растительных источниках обычно представляют совокупность нескольких фракций, различающихся по молекулярной массе, наличием в их составе различных функциональных групп. Поэтому выделяемые растительные полисахариды характеризуются широким молекулярно-массовым распределением, различным соотношением фракций и их структурой, что влияет на их функционально-технологические свойства.

В настоящее время существуют сложности селективного выделения индивидуальных полисахаридов из растительного сырья, определения их химической структуры, проведения стандартизации исследуемых образцов. Все это ограничивает их промышленное производство.

Из водных растворов полисахариды выделяют различными способами: осаждением спиртами (этиловым, изопропиловым), с помощью ионно-обменной хроматографии, гель-фильтрации, аффинной хроматографии [306, 326, 437, 440]. Однако высокая стоимость инвестиций в оборудование и эксплуатацию препятствует индустриализации этих технологий и ограничивает их промышленное использование.

Метод осаждения реагентами обладает наибольшим потенциалом для масштабирования и препаративного фракционирования полисахаридов. Он заключается в постепенном добавлении специально подобранного осадителя (реагента) в раствор полисахарида, что приводит к осаждению целевого продукта.

Фракционирование осадителем основано на фазовом разделении растворов полисахаридов. Полисахариды, различные по химической структуре и молекулярной массе, обладают различной растворимостью. Добавление небольшого количества осадителя изначально приводит к осаждению

полисахаридов с низкой растворимостью, последующее добавление осадителя постепенно осаждает полисахариды с относительно высокой растворимостью. Таким образом, достигается фракционное осаждение полисахаридов на основе дифференциальной растворимости. Осуществление этого процесса не требует сложного оборудования. Отделение осажденного продукта обычно проводится с использованием центрифуги.

Как правило, растворимость полисахарида отрицательно коррелирует с его молекулярной массой, то есть градиентное осаждение часто вызывает осаждение полисахаридов в порядке убывания молекулярного веса [297]. В качестве осадителей полисахаридов чаще всего используют органические растворители: изопропиловый спирт, этиловый спирт, ацетон.

Метод градиентного осаждения является доступным и позволяет получать очищенные полисахаридные препараты для фармацевтики и косметологии.

Для изучения возможностей получения однородных фракций полисахаридов семян льна проводили определение эффективного осадителя полисахаридов семян льна из водных экстрактов, а также их градиентное осаждение из водных экстрактов.

На рисунке 4.24 представлены выход полисахаридных комплексов из водных экстрактов при разных концентрациях осадителя.

Как следует из полученных данных, осаждение полисахаридов льняной слизи изопропиловым спиртом достигалось при меньших концентрациях. Максимальный выход выше 80% наблюдался при концентрации 66,7%.

В случае использования этилового спирта в качестве осадителя выход полисахаридов значительно меньше и его максимальное значение не превышало 74%. Следует отметить, что увеличение концентрации осадителя свыше 75% не увеличивало выход продукта.

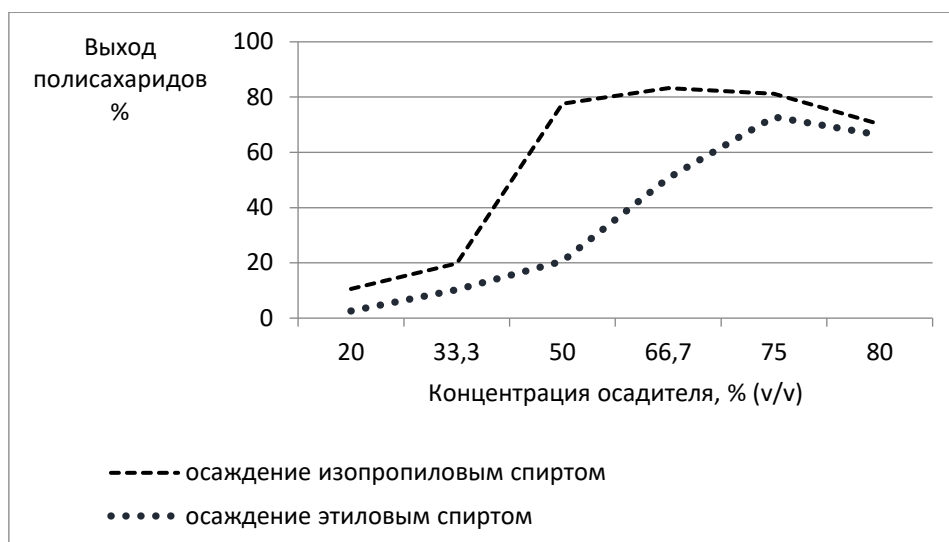


Рисунок 4.24 –Выход полисахаридных комплексов при различных концентрациях осадителя

Вероятно, что полисахариды не осаждаются полностью из раствора, так как у них есть фракции, которые растворимы при высоких концентрациях растворителя. Одной из причин неполного осаждения полисахаридов из растворов может быть наличие некоторого количества примесей. Тем не менее, в случае выделения галактоманнана авторы [305] показали, что максимальный выход не более 90% наблюдался при концентрации этанола 33,3% и изопропанола 28,6%. Галактоманнан характеризуется большим молекулярным весом, с чем, вероятно, связано его максимальное осаждение при столь невысоких концентрациях осадителя.

Для проведения осаждения предварительно были проведены эксперименты по подбору концентраций осадителя на каждом этапе. При концентрациях осадителя: 23,0 – 38,0 – 48,0 – 55,0% были получены 4 фракции полисахаридов семян льна: Ф23, Ф38, Ф48, Ф55, отличающихся по растворимости. Для сравнения исследовали также нефракционированный ПС комплекс, полученный при осаждении 3-кратным избытком спирта (Ф68 ПС нефр.).

Выход фракций относительно сухого остатка экстракта при использовании в качестве осадителей изопропилового и этилового спирта представлен на рисунке 4.25.

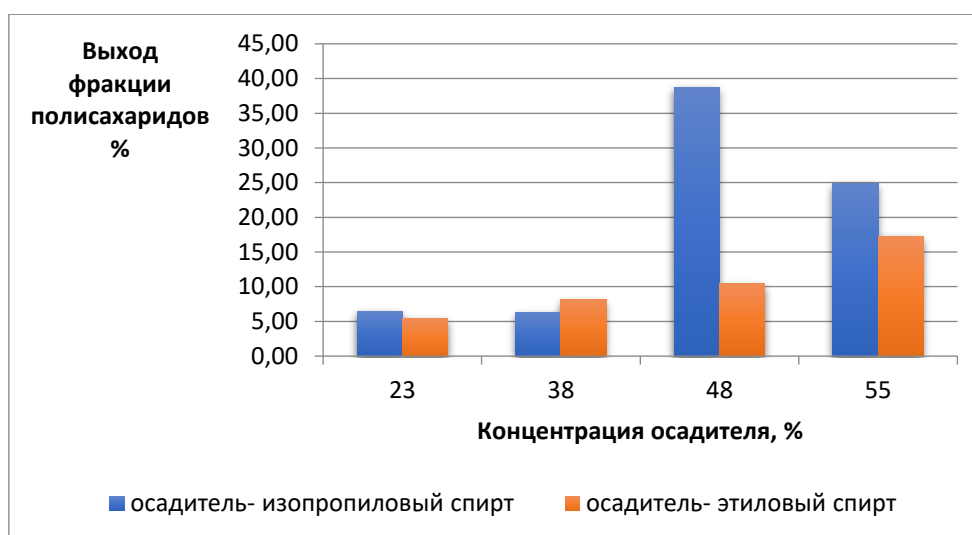


Рисунок 4.25 – Фракционирование полисахаридов семян льна различными осадителями

Для характеристики полученных полисахаридных фракций определяли их характеристическую вязкость $[\eta]$ и содержание в них белка, представленные в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – 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 |

Анализ полученных результатов показал, что первая фракция с низкой растворимостью имела более низкие значения характеристической вязкости при использовании обоих осадителей. При этом изменения значений $[\eta]$ в обоих случаях были аналогичны. Содержание белка уменьшалось, по мере увеличения концентрации осадителя. Можно предположить, что в случае исследуемых семян льна арабиноксиланы нейтральной фракции имеют хорошо разветвленную структуру и вследствие этого высокую растворимость несмотря на то, что они характеризуются высокой молекулярной массой. Учитывая максимальное содержание белка в первой фракции, вероятно, что, прежде всего, осаждаются

полимеры кислой фракции, образующие ассоциаты с протеинами. По данным ряда авторов нейтральная фракция полисахаридов семян льна содержит незначительное количество белка (не более 2%) [316, 434]. Также исследования семян льна российских сортов коллекции ВИР, проведенные Пороховиной [140] выявили у коричневых семян льна меньшее количество арабиноксилана и ксилозы, составляющих нейтральную фракцию, и увеличенное содержание пектинов: галактуроновой кислоты и галактозы (кислая фракция). При этом соотношение Ara/Xyl , характеризующее степень ветвления, варьировалось в широком интервале 0,05-0,3.

Таким образом, получены 4 фракции полисахаридов семян льна, характеризующиеся разной растворимостью. Анализируя полученные результаты по их исследованию, можно предположить, что:

- в составе полисахаридов семян льна есть фракции хорошо растворимые при высоких концентрациях (не менее 68%) спирта;
- полимеры нейтральной фракции имеют высокую степень ветвления и вследствие этого высокую растворимость в водных растворах, о чем свидетельствуют такие показатели, как высокая характеристическая вязкость и минимальное содержание белка фракции Ф55;
- при малых концентрациях осадителя из полисахаридного экстракта высаживаются в первую очередь полимеры кислой фракции, что подтверждается максимальным содержанием белка в этой фракции.

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.

Глава 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. В настоящее время метод инфракрасного нагрева нашел свое применение в отечественных установках высокотемпературной микронизации (ВТМ) растительного сырья и продуктов его переработки. Для использования способа ВТМ для конкретного растительного объекта необходима разработка рациональных режимов ИК обработки, что невозможно без глубокого понимания процессов, сопровождающих ИК нагрев и влияющих на качество объекта.

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

ИК-обработка характеризуется кратковременностью и высокой скоростью нагрева, что позволяет свести к минимуму гидролитические процессы, окислительный распад липидов, стабилизировать качество масличного сырья и увеличить сроки его безопасного хранения [49].

Для определения оптимальной температуры процесса обработки семян льна ИК-облучением в качестве функции отклика использовали такие показатели, как содержание сырого жира и изменение его кислотного числа.

Термообработку проводили при различных температурах в диапазоне 50-150°C. Время выдержки - 20 сек. Обработывали слой семян толщиной 3-4мм.

Было установлено, что повышение температуры нагрева семян льна до 110°C под действием ИК-облучения приводило к увеличению содержания суммы липидов относительно исходного значения на 16,2% (рисунок 5.1). Это объясняется переходом фосфолипидов и других растворимых веществ в извлекаемые липиды.

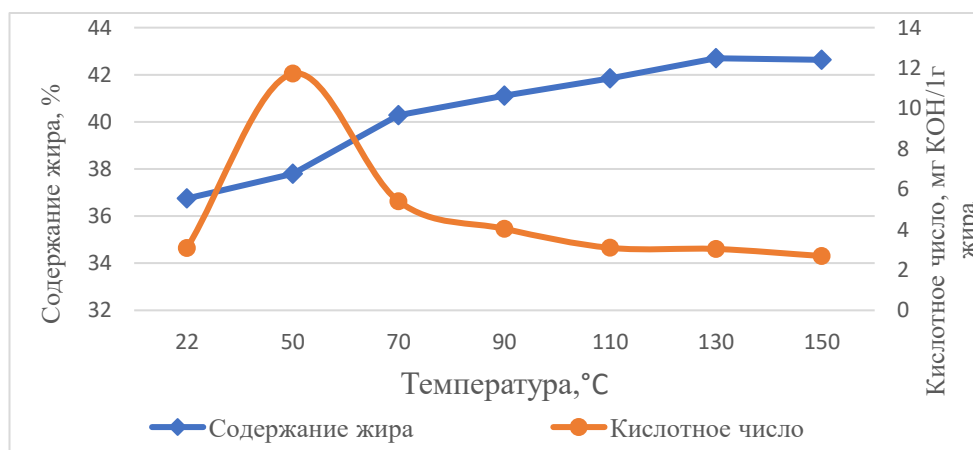


Рисунок 5.1 - Влияние температуры ИК-облучения на содержание сырого жира и кислотное число семян льна

Выше 130°C общее содержание липидов в семенах льна не изменялось. Экспериментальный график изменения содержания сырого жира (y_1) в семенах

льна при ИК-облучении с большой степенью адекватности – 98% соответствовал полиномиальной зависимости 2-ой степени:

$$y_1 = 34,316 + 2,359x - 0,1652x^2, \quad (5.1)$$

где x – температура при ИК-обработке.

Под действием ИК-облучения повышались также значения кислотного числа жира. При этом наибольшее значение кислотное число имело при температуре обработки семян льна 50°C , что наглядно проиллюстрировано на рисунке 5.1. Повышение кислотного числа жира является следствием гидролиза триацилглицеролов катализируемого липазой и образования свободных жирных кислот. Максимальное значение кислотного числа при 50°C свидетельствует о наибольшей активности липазы семян льна при этой температуре.

Установленная математическая зависимость влияния температуры ИК – обработки на кислотное число жира семян льна имеет вид:

$$y_2 = -130,49 + 274,39x - 199,86x^2 + 71,294x^3 - 13,491x^4 + 1,3001x^5 - 0,0502x^6, \quad (5.2)$$

где y_2 – кислотное число жира семян льна;

x – температура при ИК-обработке.

При температурах выше 70°C значения кислотного числа были незначительно выше исходного, а в области $130-150^\circ\text{C}$ кислотное число снижалось. Снижение значений этого показателя в области $130-150^\circ\text{C}$ 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

Большое практическое значение для хранения и переработки растительного сырья, особенно масличного, имеют ферменты, катализирующие окислительные процессы. Это, прежде всего, липаза и липоксигеназа. В результате сопряженного

действия липазы и липоксигеназы инициируются процессы прогоркания растительного сырья и пищевых продуктов.

Известно, что активность ферментов зависит от влажности исходного сырья. При повышении влажности активность, в частности, липазы резко снижается. Поэтому часто термообработка растительного сырья сопровождается предварительным увлажнением.

Анализ научной литературы показал, что увлажнение и термообработка, в том числе с использованием инфракрасного энергоподвода, оказывают синергетическое действие на улучшение качества растительного сырья и продуктов их переработки. Технологии на их основе позволяют улучшить органолептические, технологические свойства, сохранить компонентный состав и биологическую ценность пищевых продуктов [37, 49].

С целью повышения пищевой безопасности семян льна, улучшения их органолептических свойств и сохранения биологической ценности изучали изменение физико-химических показателей семян льна в результате ИК-облучения в сочетании с предварительной гидротермической обработкой семян льна методом пропаривания. Определяли такие показатели, характеризующие протекание окислительных и гидролитических процессов, как перекисное и кислотное числа сырья, активность липазы и липоксигеназы, содержание в сырье жира и белка.

В качестве способа предварительного увлажнения семян льна использовали пропаривание. Увлажнение семян льна при комнатной температуре способствует очень быстрому набуханию льняных слизей, поверхность семян льна становится склизкой, что осложняет проведение технологических операций. При пропаривании до достижения критической влажности семян льна процесс набухания слизей и ослизнения семян замедляется, при этом протекает мягкая денатурация белка, которая повышает его усвояемость.

Для отработки режимов гидротермической обработки на лабораторной установке определяли зависимость влажности семян льна от продолжительности пропаривания, а также изменение таких показателей, как кислотное и перекисное

число, объем семян льна. Результаты проведенных экспериментов представлены на рисунке 5.2.

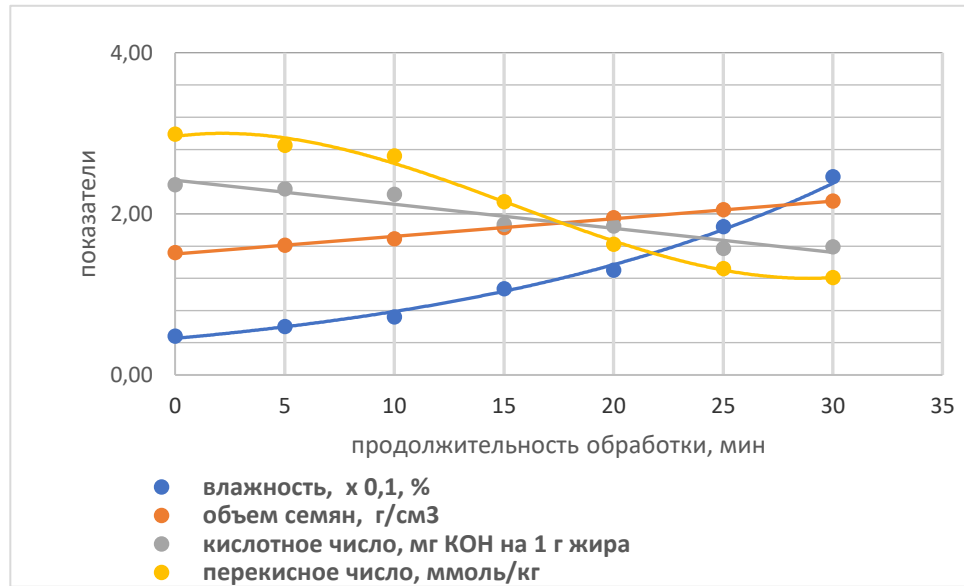


Рисунок 5.2 – Результаты гидротермической обработки семян льна

Полученные зависимости (рисунок 5.2) с высокой степенью адекватности (R^2) описываются следующими уравнениями:

$$\text{Влажность семян льна } (y_1): \quad y_1 = 0,4536e^{0,0552x} \quad R^2 = 0,9924 \quad (5.1)$$

$$\text{Объем семян льна } (y_2): \quad y_2 = 0,0219x + 1,5021 \quad R^2 = 0,9959 \quad (5.2)$$

$$\text{Кислотное число жира семян льна } (y_3): \quad y_3 = -0,0299x + 2,4179 \quad R^2 = 0,9322 \quad (5.3)$$

$$\text{Перекисное число } (y_4): \quad y_4 = 0,0002x^3 - 0,0088x^2 + 0,0354x + 2,9621 \quad R^2 = 0,9939 \quad (5.4)$$

где x – продолжительность пропаривания, мин.

В процессе гидротермической обработки методом пропаривания снижались уровни таких показателей, как кислотное число и перекисное число. Эти характеристики в большой степени зависят от активности окислительных ферментов липазы и липоксигеназы, которые имеют белковую природу и денатурируются при повышении температуры.

Объем семян в процессе пропаривания повышался. Условия гидротермической обработки способствуют тому, что биополимеры оболочки и эндосперма (в основном полисахаридной и белковой природы) разбухают за счет

удерживания воды и образования ассоциатов, что приводит к увеличению объема семени.

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 проводили до критической влажности < 25%.

На основании полученных данных разрабатывали параметры комплексной обработки семян льна ИК-облучением с предварительным пропариванием сырья. С этой целью исследовали характеристики семян льна с различной исходной влажностью перед ИК-облучением. Экспериментальные данные представлены в таблице 5.1. Как следует из полученных данных, влажность перед ИК-облучением в большой степени влияла на активность окислительных ферментов, особенно липазы. Более наглядно резкое падение активности липазы при повышении исходной влажности перед термообработкой показано на рисунке 5.3.

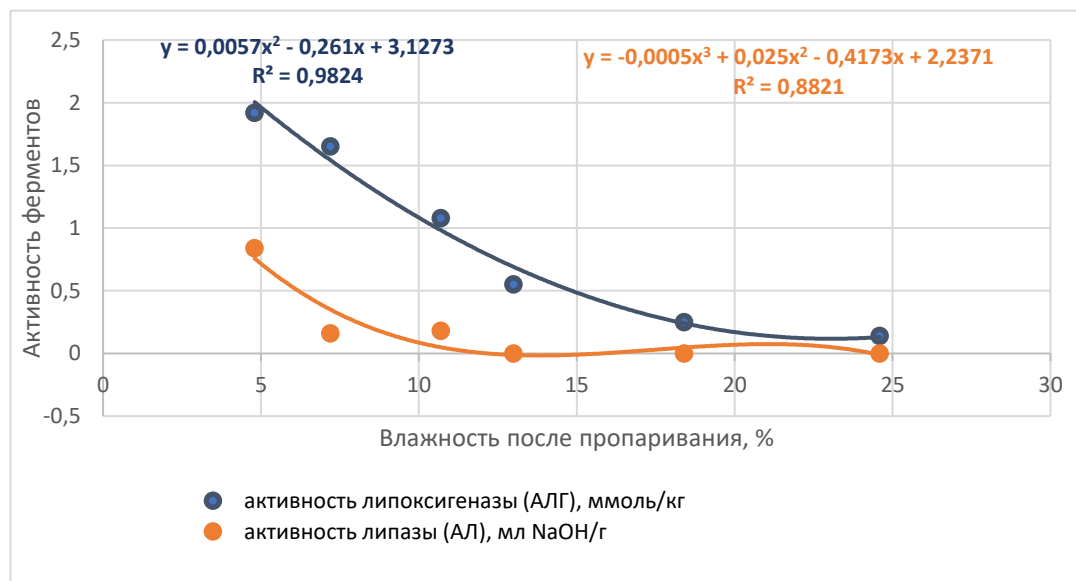


Рисунок 5.3 – Влияние влажности семян льна на активность липоксигеназы и липазы после ИК-обработки

Таблица 5.1 - Физико-химические показатели семян льна после ИК-обработки

| Образец | Влажность после пропарив., % | Влажность после ИК-обработки, % | Перекисное число ммоль½О/кг | Активность липоксигеназы (АЛГ), ммоль/кг | Активность липазы (АЛ), мл NaOH/г | Кислотное число мг КОН на 1г жира | Сырой жир, % | Объем семян 10г / см ³ |
|-----------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Исходные семена | Исх. влажность - 4,8±0,24 | - | 2,99±0,12 | 1,92±0,1 | 0,84±0,04 | 2,36±0,09 | 44,54±2,23 | 15,0±0,75 |
| ИК-6 | 7,2±0,36 | 3,00±0,15 | 2,72±0,11 | 1,65±0,08 | 0,16±0,01 | 2,24±0,09 | 46,65±2,33 | 16,9±0,85 |
| ИК-7 | 10,7±0,53 | 2,96±0,15 | 2,15±0,09 | 1,08±0,05 | 0,18±0,01 | 1,87±0,09 | 46,17±2,31 | 17,0±0,85 |
| ИК-4 | 13,0±0,65 | 3,80±0,19 | 1,62±0,06 | 0,55±0,03 | 0 | 1,85±0,09 | 43,80±2,19 | 16,8±0,84 |
| ИК-8 | 18,4±0,92 | 3,47±0,17 | 1,32±0,05 | 0,25±0,01 | 0 | 1,57±0,08 | 46,30±2,32 | 19,0±0,95 |
| ИК-5 | 24,6±1,23 | 3,50±0,18 | 1,21±0,05 | 0,14±0,01 | 0 | 1,59±0,06 | 43,00±2,15 | 18,9±0,95 |
| ИК-9* | - | 3,36±0,17 | 1,36±0,05 | 0,29±0,01 | 0,3±0,02 | 1,60±0,06 | 46,76±2,34 | 16,9±0,85 |
| СВЧ** | 20,0±1,0 | 4,40±0,22 | 1,56±0,06 | 0,49±0,02 | 0 | 1,53±0,06 | 46,90±2,35 | 18,8±0,94 |
| ИК-0*** | 10,38±0,52 | - | 2,85±0,11 | 1,78±0,09 | 0,52±0,03 | - | - | - |

*- образец подвергали ИК-облучению без предварительного пропаривания

** - образец после пропаривания сушили в микроволновой печи

*** - образец подвергали только пропариванию без ИК-облучения

Активность липазы с увеличением влажности резко падала и уже при влажности 13% достигала своего минимального значения. Экспериментальные данные со степенью адекватности ($R^2 = 0,8821$) были близки линии тренда, описываемой уравнением третьей степени, которое представлено на рисунке 5.3 (оранжевый маркер).

Активность липоксигеназы, как следует из рисунка 5.3, снижалась более плавно по сравнению с аналогичным показателем липазы и при влажности после пропаривания 25% достигала практически минимального значения. В случае фермента липоксигеназы экспериментальные данные с большой степенью адекватности ($R^2 = 0,9824$) соответствовали линии тренда, описываемой уравнением третьей степени на рисунке 5.4 (синий маркер).

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.

Термоллабильность ферментов хорошо известна. Зависимость активности ферментов от температуры выражается кривой с пиковой вершиной. Максимальная активность обычно находится в интервале 40-50°C. При дальнейшем повышении температуры возрастает количество инактивированного фермента за счет денатурации его белковой части. Вследствие этого процесс активности фермента, выражающаяся количеством превращенного субстрата, падает. Температурный оптимум для разных ферментов неодинаков. Для ферментов растительного сырья он, в основном, лежит в интервале 50-60°C [136].

Выше было показано, что для семян льна была характерна максимальная активность липазы при температуре 50°C. Такой вывод был сделан на основании изменения кислотного числа жира семян льна. Липаза служит инициатором процесса расщепления триглицеридов с высвобождением свободных жирных кислот. Основным показателем действия липазы на ухудшение качества жиров растительного сырья служит интенсивное повышение кислотного числа жира

продукта. Так, повышение температуры выше 50°C снижало кислотное число семян льна и после 110°C этот показатель не превышал контрольного значения исходного сырья.

Таким образом, из полученных данных следует, что гидротермическая обработка семян льна пропариванием перед ИК-облучением способствовала снижению активности липазы и липоксигеназы семян льна. Причем полная инактивация липазы достигалась при пропаривании до влажности 13%. Минимальная активность липоксигеназы достигалась при пропаривании до влажности 25%. В связи с этим диапазон оптимальной влажности семян льна после гидротермической обработки определяли по минимальной активности липоксигеназы, который составил 20-25%.

Проведение ИК-облучения семян льна без предварительного увлажнения не позволяет достигать минимальных значений активности этих ферментов (таблица 5.1). Так, активность липазы не достигала своего нулевого значения и снижалась до 35,7% относительно своего исходного значения, а активность липоксигеназы снижалась до 15,1% по сравнению с достигнутым при предварительном пропаривании значением 7,3%. В данном случае также проявляется более значительное влияние исходной влажности сырья на активность липазы. Исходная влажность семян льна перед ИК-облучением составляла 4,8%, и при таком небольшом значении процесс инактивации липоксигеназы протекал более глубоко по сравнению с инактивацией липазы в отличие от ранее рассмотренных условий.

Влияние способа обработки семян льна на активность окислительных ферментов можно видеть по изменению величины такого показателя, как перекисное число (рисунок 5.3).

Минимальное значение перекисного числа достигалось при полном цикле ИК-обработки – совмещенном с предварительным пропариванием до влажности 25%. ИК-обработка без пропаривания и СВЧ-обработка семян льна с предварительным пропариванием не позволяли достичь таких же минимальных значений перекисного числа, как при полном цикле.

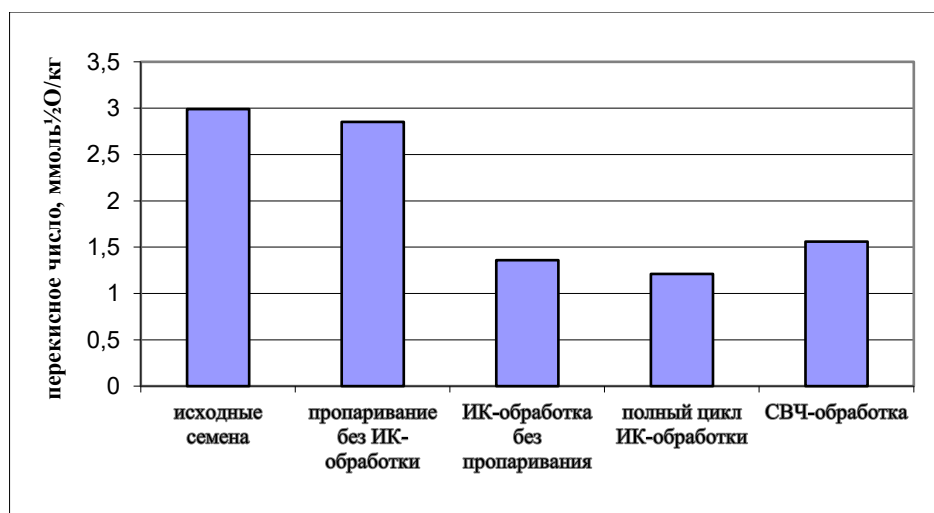


Рисунок 5.3 - Влияние способа обработки на перекисное число семян льна

Это свидетельствует о синергетическом влиянии предварительного пропаривания и ИК-облучения. Следует отметить и бóльшую эффективность в данном случае ИК-облучения по сравнению с СВЧ-обработкой.

Аналогичным образом практически изменялось и кислотное число семян льна в процессе обработки (таблица 5.1). Однако в этом случае результаты для ИК-облучения и СВЧ-обработки оказались близкими. Кислотное число для семян льна после ИК-обработки с пропариванием снизилось на 32,7%, а после СВЧ-обработки – на 35,2%.

Продолжительность сушки определяется исходной влажностью. Кривая сушки с влажностью семян после гидротермической обработки 20% представлена на рисунке 5.5.

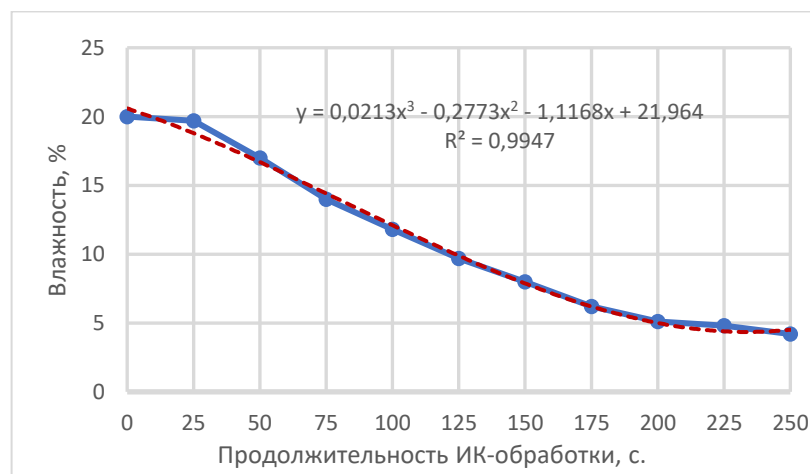


Рисунок 5.5 – ИК-сушка семян льна после гидротермической обработки

Влажность конечного продукта, стабилизированных семян льна, после ИК-обработки не превышала 4-5% (таблица 5.1). Такая влажность продукта способствует более продолжительному хранению в результате снижения риска развития и протекания гидролитических процессов.

Следует отметить, что в результате термообработки семян льна повышалось содержание сырого жира, в среднем на 5%, независимо от метода термообработки, ИК или СВЧ (таблица 5.1). Это можно объяснить переходом фосфолипидов и других растворимых веществ в экстрагируемые липиды. Аналогичное повышение содержания сырого жира при термообработке было показано для арахиса [17].

ИК-обработка в сочетании с предварительным увлажнением пропариванием оказывала влияние на общее содержание белка в семенах льна, как следует из данных, представленных в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Изменение содержания белка в семенах льна после ИК-обработки с предварительным пропариванием

| Образец | Влажность, % | Общий азот, % | Содержание белка, % |
|-------------------------|-----------------|------------------|------------------------|
| Исходные семена | 4,80±0,24 | 3,50±0,15 | 21,88±1,09 |
| ИК-1 | 25,18±1,26 | 3,32±0,14 | 20,76±1,04 |
| ИК-5 | 24,60±1,23 | 3,33±0,14 | 20,80±1,04 |
| ИК-8 | 18,40±0,92 | 3,57±0,15 | 22,36±1,12 |
| ИК- без пропаривания | 4,80±0,24 | 3,53± 0,15 | 22,07±1,10 |
| 0 – без ИКобработки | 10,38±0,52 | 3,53±0,15 | 22,00±1,1 |
| СВЧ-обработка | 20,00±1,00 | 3,650,15 | 22,80±1,14 |

Было установлено, что при проведении ИК-обработки семян льна с влажностью после предварительного пропаривания выше 24% содержание белка в образцах снижалось приблизительно на 5%. Такое снижение содержания белка, вероятно, связано с началом протекания гидролиза белка, который начинается

при этой влажности. ИК-обработка семян льна без предварительного пропаривания, практически не изменяла общее содержание белка.

Сочетание предварительного увлажнения с ИК-обработкой увеличивало объем семян льна на 20-26% при сохранении их формы (таблица 5.1).

Полученные результаты позволили обосновать оптимальные технологические режимы получения микронизированных семян льна с минимальной активностью окислительных ферментов и повышенным объемом.

5.3 Обоснование рациональных параметров микронизации семян льна

На основании результатов проведенных исследований были определены параметры микронизации семян льна. Разработанный процесс позволяет получать семена льна с пониженной активностью окислительных ферментов, сохраненным белково-липидным содержанием, увеличенным объемом и улучшенными органолептическими свойствами.

Последовательность технологических стадий обработки семян льна представлена на рисунке 5.6.

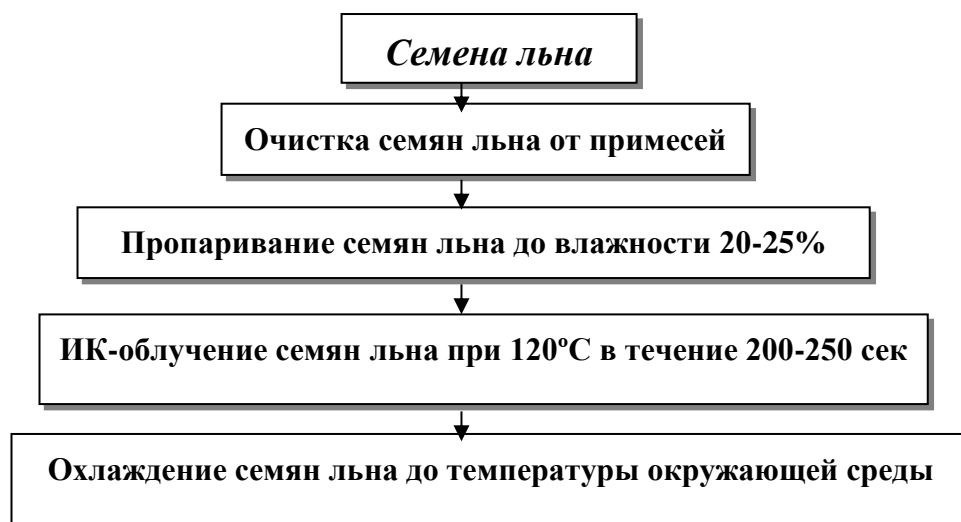


Рисунок 5.6 – Технологическая схема микронизации семян льна

Необходимость использования пропаривания в качестве способа увлажнения семян льна вызвана особенностями их компонентного состава.

Оболочка семян льна содержит незначительное количество целлюлозы (не более 18% в пересчете на сухое вещество) и до 62% других углеводов, в первую очередь слизей, представляющих собой легко диспергирующиеся в воде углеводы, состоящие, преимущественно, из нередуцирующих сахаров [220].

Увлажнение семян льна перед термической обработкой при комнатной температуре приводит к быстрому набуханию слизей на поверхности семян, что осложняет их дальнейшую переработку. В этот процесс также вовлекаются водорастворимые фракции белка, в результате чего возможны потери белка и снижение пищевой ценности сырья [96]. Пропаривание семян льна предотвращает набухание слизей, приводит к мягкой денатурации белка, что также повышает усвояемость белка. Было установлено, что проведение пропаривания до влажности выше 30% осложняет проведение следующей технологической стадии. В этом случае семена льна становятся слизистыми, что осложняет равномерную ИК-обработку.

Температурный режим ИК-облучения - 120°C является оптимальным для достижения минимальной активности окислительных ферментов, получения семян льна с пониженными значениями перекисного числа и кислотного числа, и содержания влажности до 4%. Сырье с такой низкой влажностью при соблюдении правил хранения имеет увеличенный срок годности, так как при таком влагосодержании гидролитические процессы, влияющие на компонентный состав, практически не протекают.

Таким образом, разработанный способ обработки семян льна позволяет получать стабилизированные семена льна с высокой питательной ценностью, расширить ассортимент биологически активного сырья для пищевой и кормовой промышленности, характеризующегося высоким содержанием эссенциальных пищевых ингредиентов.

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

Для исследования действия кратковременной высокотемпературной обработки под действием ИК-облучения с предварительным пропариванием определяли содержание белка и липидов в исходных и микронизированных семенах льна и в льняной муке. Результаты исследования представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Характеристика исходных и микронизированных семян льна и льняной муки

| Наименование материала | Содержание общего азота, % | Содержание общего белка, % | Содержание жира, % |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| Семена льна | | | |
| Исходные | 3,50 ± 0,15 | 21,88 ± 1,09 | 44,54 ± 2,23 |
| Микронизированные | 3,33 ± 0,14 | 20,80 ± 1,04 | 49,00 ± 2,45 |
| Льняная мука. Образец 1* | | | |
| Исходная | 5,22 ± 0,26 | 32,6 ± 1,63 | 11,80 ± 0,59 |
| Микронизированная | 5,68 ± 0,28 | 35,47 ± 1,77 | 15,5 ± 0,78 |
| Льняная мука. Образец 2** | | | |
| Исходная | 6,64 ± 0,33 | 41,5 ± 2,08 | 8,68 ± 0,43 |
| Микронизированная | 6,40 ± 0,32 | 40,0 ± 2,00 | 10,58 ± 0,53 |

* - льняная мука 2010 года выработки; ** - льняная мука 2011 года выработки

Как следует из полученных данных, при кратковременной высокотемпературной ИК обработке, как семян льна, так и льняной муки вариации общего содержания белка незначительны и укладываются в пределы статистической погрешности метода определения. Это свидетельствует о том, что в процессе микронизации общее содержание белка в льняном сырье практически не изменялось. Следует отметить, что под действием ИК нагрева содержание протеина не меняется и при обработке других культур: риса, пшеницы, ячменя [27, 49].

Что касается общего содержания жира, то этот показатель после ВТМ увеличивался: в семенах льна на 10%, в льняной муке – от 20 до 30%. Это можно

объяснить переходом фосфолипидов и других растворимых веществ в экстрагируемые липиды. При этом в льняной муке в результате разрушения клеток за счет измельчения этот процесс протекает эффективней.

Биологическая ценность сырья определяется не только общим содержанием белка, но и соотношением белковых фракций. Белковый комплекс семян льна характеризуется наличием трех фракций: альбуминов, глобулинов и глютелинов. Более 50% белкового комплекса семян льна составляют водорастворимые альбумины, которые характеризуются высоким содержанием электрофоретических компонентов с высокой подвижностью и низкой молекулярной массой.

С целью исследования влияния микронизации на биологическую ценность семян льна и льняной муки определяли содержание и соотношение белковых фракций в этих объектах. Результаты исследований представлены на рисунках 5.7, 5.8.

Как следует из полученных данных, содержание водорастворимой фракции при микронизации семян льна уменьшалось практически в 4 раза. При этом наблюдалось значительное повышение содержания глютелинов – щелочерастворимой фракции. Незначительно увеличивалось и содержание глобулинов. Часть белков (~ 20%) переходила в нерастворимый остаток. Полученные результаты коррелируют с данными по исследованию семян льна масличных сортов, опубликованными авторами [221]. Ими также было показано снижение содержания водорастворимых и увеличение щелочерастворимых белков семян льна при термообработке семян льна традиционным конвективным нагревом.

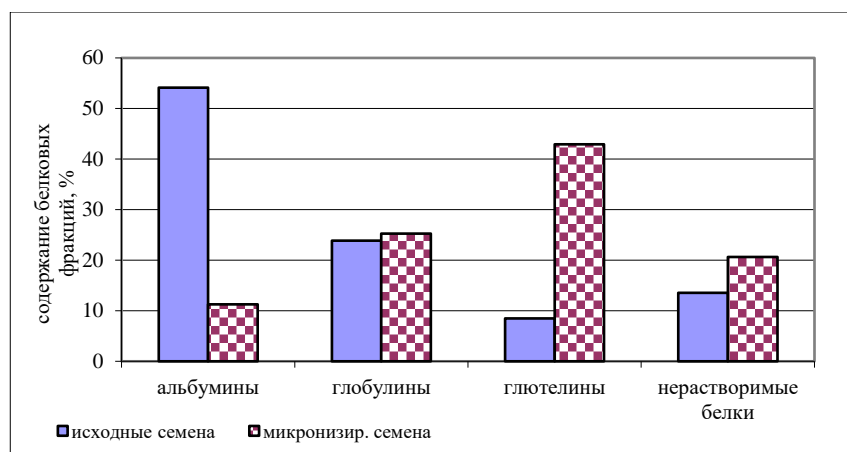


Рисунок 5.7 - Соотношение белковых фракций в исходных и микронизированных семенах льна

Аналогичные процессы при микронизации выявлены и для льняной муки (рисунок 5.8), однако изменения в содержании белковых фракций не такие значительные.

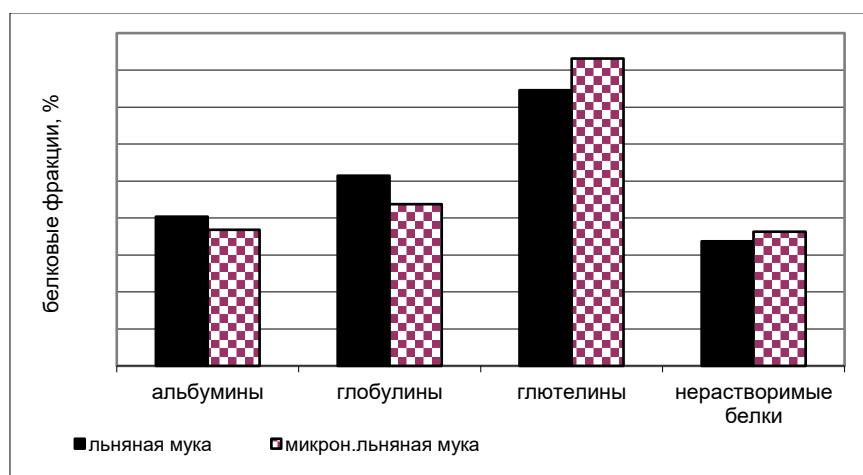


Рисунок 5.8 - Соотношение белковых фракций в исходной и микронизированной льняной муке

В микронизированной льняной муке практически в одинаковой степени уменьшалось содержание альбуминов и глобулинов (на 1,75 и 3,85% соответственно). Содержание глютелинов увеличилось в микронизированной муке на 4,28% и содержание белка в нерастворимом остатке увеличилось на 1,32%.

Льняная мука вырабатывается из семян льна, обезжиренных методом «холодного» прессования. В процессе этой технологии в результате механохимических превращений протекает частичная денатурация белка. Поэтому белковый комплекс льняной муки уже денатурирован. Дальнейшая денатурация, происходящая при микронизации, незначительно меняет соотношение белковых фракций льняной муки за счет, в основном, перехода водо- и солерастворимых белков в щелочерастворимые. Это согласуется со схемой взаимных переходов белковых веществ при влаготепловой обработке из одного состояния по растворимости в другое при отсутствии гидролитического расщепления белков [136]. Об отсутствии процесса гидролитического гидролиза белков при кратковременной высокотемпературной ИК-обработке льняного сырья свидетельствует практическая неизменность общего содержания белка (таблица 5.3).

Известно, что тепловая обработка приводит к денатурационным изменениям белков. Степень денатурации зависит от температуры и времени обработки. Мягкая денатурация, которая происходит при невысоких температурах, увеличивает перевариваемость белков, что повышает их биодоступность.

Например, при удалении масла методом «холодного» прессования семена льна подвергаются термообработке не выше 45°C. При этом также происходит перераспределение белковых фракций: снижается содержание водорастворимых белков, повышается содержание глютенинов и глобулинов.

Сравнение изменения соотношения белковых фракций, происходящих в семенах льна при невысокой температуре прессования и кратковременной высокотемпературной обработкой под действием ИК-облучения наглядно представлено на рисунке 5.9.

Как видно из рисунка 5.9 перераспределение белковых фракций при таких различных технологических операциях протекает одинаково.

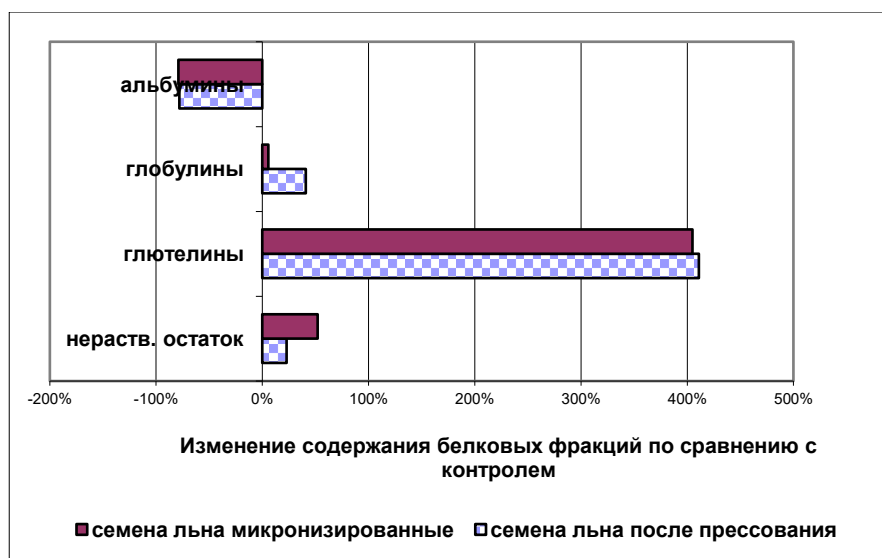


Рисунок 5.9 - Изменение содержания белковых фракций в семенах льна под действием технологических операций: прессования и микронизации

Следует отметить, что при микронизации практически не происходит изменения в содержании глобулинов, однако в большей степени увеличивается белок нерастворимого остатка. Что касается альбуминовой и глютелиновой фракций, происходящие в них изменения при этих процессах одинаковы. Полученные результаты свидетельствуют о мягком действии ИК-облучения на растительное сырье, в частности семена льна.

Мягкое действие микронизации на растительные объекты, несмотря на применение высоких температур, можно объяснить, рассмотрев технологические операции, используемые в этом процессе. В разработанную нами технологию микронизации входит предварительная обработка семян льна. Как было показано выше, увлажнение семян льна до 25% пропариванием перед ИК облучением позволяет получать сырье с минимальной активностью окислительных ферментов, увеличенным объемом и улучшенными органолептическими свойствами.

Предварительная обработка – увлажнение паром, способствует, прежде всего, насыщению поверхностного слоя, то есть оболочки семян льна влагой. Это позволяет практически исключить воздействие лучистого потока на ядро. Этим

можно объяснить достаточно мягкое воздействие облучения на эссенциальные пищевые вещества семян льна.

Оболочка семян льна является капиллярно-пористым телом. При воздействии ИК излучения на капиллярно-пористое тело, содержащее влагу (в том числе и поверхностную) движение жидкости происходит по направлению ИК излучения. Это движение вызывается значительным градиентом температур, в связи с чем имеет место перемещение влаги по направлению теплового потока. Увлажнение с последующим ИК облучением приводит к тому, что содержащаяся внутри тканей оболочки вода и вода, осажденная на ее поверхности, направляется внутрь продукта и располагается между ядром и нижней поверхностью оболочки. Дальнейший интенсивный нагрев приводит к тому, что вода уходит из оболочки и, располагаясь между ней и ядром, начинает расширяться и частично испаряться, постепенно диффундируя в ядро. При этом слизь, располагающаяся между оболочкой и ядром, также увлажняется, появляется эффект скольжения оболочки по слизи. В определенный момент времени в пространстве между оболочкой и ядром создается избыточное давление за счет испарения воды, и оболочка растрескивается.

Для некоторых культур найден спектральный интервал, при котором этот процесс наиболее эффективен. Так, в частности, для какао-бобов наиболее интенсивное действие ИК-излучения на разрыв оболочки происходит в спектральном интервале 0,8-1,5 мкм, так как в этой области их оболочка наиболее интенсивно пропускает излучение, что способствует быстрому диффундированию воды из оболочки в пространство между ней и ядром [55].

Кроме того, в этой области спектра находятся полосы поглощения воды, приходящиеся на длины волн 0,98 и 1,5 мкм, которые способствуют быстрому нагреву и частичному испарению воды в пространстве между оболочкой и ядром. Это и облегчает процесс отделения оболочки от ядра, а также способствует диффундированию воды в оболочку и увеличению его пластичности.

Таким образом, кратковременная высокотемпературная микронизация семян льна и льняной муки обеспечивает сохранение их биологической ценности и является перспективной технологией для получения биологически активного сырья для пищевой промышленности.

Семена льна по своему компонентному составу относятся к функциональным пищевым продуктам. В связи с этим большое значение имеют их органолептические свойства. Для оценки органолептических свойств использовали балловый метод сенсорного анализа [70, 147].

Для семян льна основополагающим показателем является вкус. Поэтому определение балльной оценки проводили по этому показателю. Вкус оценивали в соответствии с балльной оценкой, представленной в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Балльная оценка вкуса

| Балл | Характеристика вкуса |
|------|--|
| 0 | Вкус не ощущается |
| 1 | Вкус слабовыраженный, не четкий |
| 2 | Вкус слабовыраженный, четкий |
| 3 | Вкус умеренно выраженный |
| 4 | Вкус ярко выраженный, не превалирующий |
| 5 | Вкус ярко выраженный, превалирующий |

Рассчитывали среднее значение баллов по следующим привкусам: крахмалистый, пресный, пряный, сладкий, горький, лекарственный, жирный, ореховый. На основании оценок привкусов строили профилограммы вкуса.

Проводили оценку вкуса трех видов семян льна: сырых, обжаренных в конвективном сушильном шкафу и микронизированных. Профилограммы вкуса образцов семян льна представлены на рисунке 5.10. 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 5.10).

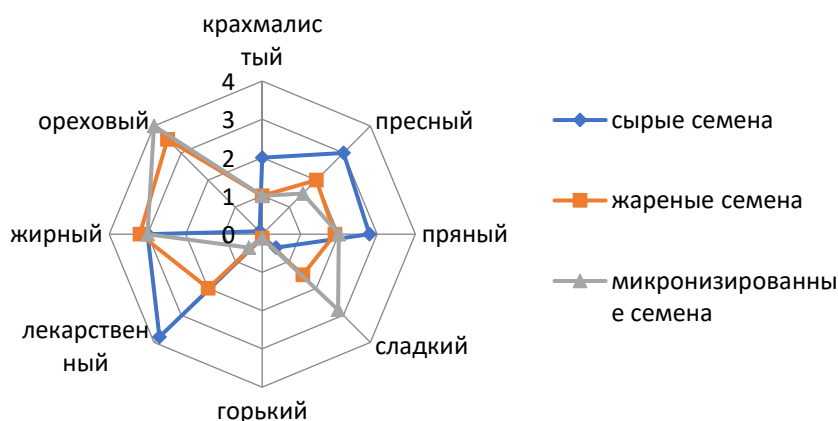


Рисунок 5.10 – Профилограммы вкуса образцов семян льна

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.

5.5 Рекомендации по безопасному использованию семян льна и продуктов их переработки

На основании анализа научных источников и собственных исследований были разработаны рекомендации для безопасного и эффективного использования семян льна и продуктов их переработки:

- ❖ Соблюдение оптимального режима хранения льняного сырья ($T < 20^{\circ}\text{C}$, влажность семян не более 16%);
- ❖ Использование сырых семян льна не более 50г/сут.;
- ❖ Выпечка хлебобулочных и мучных кондитерских изделий при температурах не менее 170°C . Оптимальное содержание льняной муки не более 15% относительно пшеничной муки;

- ❖ Использование льняной муки в изделиях из фарша (мясной, рыбный) в количестве до 15%.

Семена льна при соблюдении соответствующих условий хранения и технологии переработки считаются нетоксичным лекарственным и пищевым сырьем. В научно-практической и медико-фармацевтической литературе отсутствует информация о выраженных побочных эффектах семян льна и их токсических свойствах.

Семена льна и льняная мука при правильном хранении и переработке являются безопасным пищевым сырьем для разработки функциональных продуктов и пищевых добавок. В настоящее время льняное сырье нашло устойчивое применение в хлебопекарном производстве практически во всех странах для выпечки широкого ассортимента хлебобулочных изделий [205, 206].

Для контроля безопасности семян льна, как и для семян других масличных культур, в Техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) определен ряд показателей (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Гигиенические требования безопасности к пищевой продукции

| Показатели | Допустимые уровни, мг/кг, не более | Масличное сырье |
|--|------------------------------------|--------------------------|
| Токсичные элементы - свинец - мышьяк | 1,0 0,3 | Семена масличных культур |
| Пестициды -ГХЦГ (α , β , γ –изомеры) - ДДТ и его метаболиты | 0,4 0,1 | Семена льна |

В связи с тем, что семена льна и продукты их переработки содержат масло с значительным содержанием ПНЖК, а также, хоть и на безопасном уровне – цианогенные гликозиды, для контроля их безопасности целесообразно ввести дополнительно определение кислотного числа масла льняного сырья, как показателя протекания процессов окислительной порчи, а также определение содержания синильной кислоты по качественной пробе.

Заключение по главе 5

Разработана технология микронизации семян льна, сочетающая кратковременное ИК-облучение с предварительным увлажнением сырья методом пропаривания. Режимы и параметры технологических стадий были определены из условий достижения минимальной активности ферментов липазы и липоксигеназы в конечном продукте.

Показано, что кратковременная ИК-обработка семян льна при высоких температурах практически не влияет на содержание белка в сырье, однако способствует количественному перераспределению белковых фракций, а также снижает активность ферментов окислительного действия, в частности липазы и липоксигеназы, которые катализируют окисление и разрушение полиненасыщенных жирных кислот. Путем сравнения изменений в соотношении белковых фракций, происходящих при невысокой температуре «холодного» прессования и кратковременной высокотемпературной обработке под действием ИК-облучения в семенах льна и льняной муке, была показана адекватность конечных результатов. Изменения в соотношении белковых фракций, происходящие при этих технологических операциях, одинаковы. Это позволяет сделать вывод, что под действием кратковременной высокотемпературной ИК-обработки происходит мягкая денатурация белка, что повышает переваримость белка.

Использование ВТМ в рамках разработанных режимов для предварительной обработки семян льна и льняной муки позволит повысить их стабильность, пищевую безопасность и технологические качества, что является хорошей перспективой для увеличения производства льняного сырья и их широкого внедрения для создания новых видов продукции с повышенной пищевой и биологической ценностью.

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. Семена льна также выделяются среди других растительных объектов чрезвычайно высоким содержанием лигнанов – растительных фитоэстрогенов [390, 399].

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

Протеины в семенах льна являются вторым компонентом после липидов по содержанию: 18-25%. После удаления масла в зависимости от технологии процесса в обезжиренных семенах льна (жмыхе или шроте) содержание протеинов может составлять от 25 до 45%. Они являются концентрированным сырьем для получения белковых продуктов.

Фракционный состав белков семян льна аналогичен протеинам семян масличных культур. Он включает три фракции: альбумины, глобулины и глютелины и способы их выделения основаны в первую очередь на их растворимости в различных средах [200].

В настоящее время предложены различные способы выделения белка из семян масличных культур, в том числе и льна. Это и традиционная экстракция в щелочной среде с осаждением в изоэлектрической точке (ИЭТ) белка [118, 288,

312, 359, 360] и новые технологии, включая экстракцию с помощью ультразвука, ультрафильтрацию, ограниченную ферментативную экстракцию и некоторые другие [237, 313].

Несмотря на широкие исследования и полученные результаты по выделению белков из растительного сырья, в том числе масличных культур, получение льняных белков в промышленных масштабах так и нигде не было осуществлено.

6.1.1 Получение белкового концентрата при предварительном удалении полисахаридов слизи

Получение белковых продуктов из семян льна осложняется высоким содержанием в семенах масла, а также наличием значительного количества растворимых в водных средах полисахаридов, образующих вязкие коллоидные системы. Предварительное удаление высоковязких полисахаридов слизей, как показали некоторые авторы [312, 314, 328, 438], позволяет увеличить содержание белка в целевом продукте до 80%, однако не повышает его выход, что является существенным для промышленного внедрения.

Получение продуктов с высоким содержанием белка (концентратов) из семян льна требует их дополнительной обработки: обезжиривания каким-либо способом (прессованием, экстракцией) и/или удаления слизей. Эти операции повышают его себестоимость. В связи с этим для получения концентрированных белковых продуктов целесообразно использовать льняной жмых, являющийся вторичным продуктом масложирового производства.

Для обоснования использования льняного жмыха в качестве сырья для выработки белковых продуктов были учтены следующие доводы:

- в льняных жмыхах содержится, как правило, 25-36% белка, а после дополнительного удаления масла экстракцией растворителем содержание белка в шротах увеличивается до 40% и выше, что свидетельствует о перспективности использования этого сырья для выделения белка;

- экстракция белка непосредственно из семян льна осложняется, как известно, наличием значительного количества жира и слизей;

- стоимость жмыха, как отхода маслодельного производства значительно ниже стоимости семян, что также определяет выбор его в качестве белкового сырья;

Учитывая различную растворимость белковых фракций предварительно [117] была разработана отдельная экстракция льняных солерастворимых и щелочерастворимой фракций из льняного жмыха. Выделение непосредственно водорастворимой фракции, как преобладающей в льняном белковом комплексе, оказалось недостаточно эффективным, так как при последующем осаждении в ИЭТ белка не происходит ее полного осаждения. Известно, что альбумины находятся в водной среде в более стабильном состоянии, гидрофильность их велика, и поэтому самоассоциация белковых молекул при осаждении протекает слабо. Глобулины находятся в менее устойчивом состоянии и при последующем изоэлектрическом осаждении выпадают в осадок. При проведении последовательной экстракции в солевой белковый экстракт удалось перевести 46,38% белка относительно его содержания в исходном сырье. В щелочной белковый экстракт перешло 22,13% от его содержания в льняном жмыхе. Продукт, выделенный при солевой экстракции, содержал 70,8% (а.с.в.) белка. Продукт, выделенный при щелочной экстракции, содержал 76,4% (а.с.в.) белка. Такая последовательность технологических операций позволила получить белковый концентрат «Линумин» с массовой долей белка не менее 72,0% (таблица 6.1).

Недостатками этого способа является многостадийность, что повышает длительность осуществления процесса, большое количество технологических вод, которые необходимо подвергать очистке для предупреждения экологического загрязнения, а также наличие в конечном продукте углеводных примесей, снижающих в нем содержание белка.

Таблица 6.1 -Характеристика льняного белкового концентрата из льняного жмыха

| Продукт | Белки, % | Жиры, % | Углеводы, % | | | Зола, % | Вода, % |
|--------------------|----------|---------|------------------|---------------|-----------|---------|---------|
| | | | Общее количество | Гемицеллюлозы | Клетчатка | | |
| Льняной концентрат | 72,4±3,6 | 1,8±0,1 | 14,5±0,7 | 2,0±0,1 | 2,0±0,1 | 5,0±0,3 | 6,3±0,3 |

Повышения эффективности экстракции белка, вероятно, можно добиться с помощью предварительного удаления слизей. Известно, что слизи представляют собой хорошо растворимые в воде полисахариды, которые конкурируют с белками за выход в раствор при экстракции.

Выделение полисахаридов слизей из льняного жмыха

С целью повышения эффективности выделения белка предварительно удаляли полисахариды слизей из льняного жмыха.

Полисахариды экстрагировали из льняного жмыха подкисленной водой при рН 3,5-4,0 (в области наименьшей растворимости [136] - точки ИЭТ, льняного белка) в соотношении 1:15 в течение 0,5-1ч при постоянном перемешивании.

В качестве переменных показателей процесса использовали гидромодуль, температуру, продолжительность. Показатель – сухой остаток экстракта, служил в качестве функции отклика. Влияние гидромодуля на выход полисахаридов слизей представлено на рисунке 6.1.

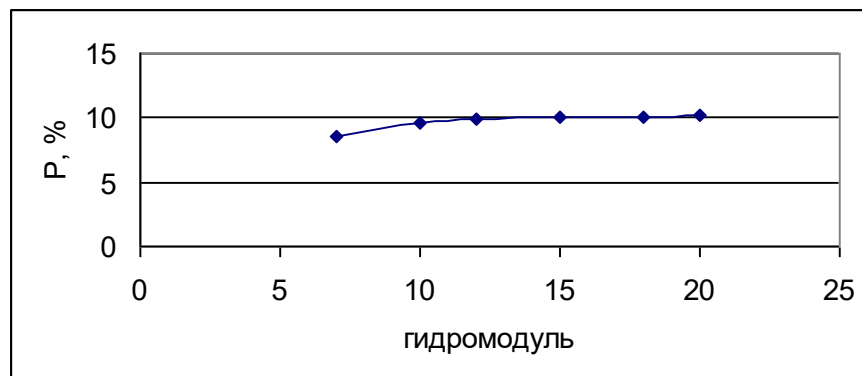


Рисунок 6.1 – Зависимость сухого остатка экстракта от гидромодуля

Как следует из представленных данных, повышение гидромодуля выше 15 было не эффективно, так как практически не увеличивало выход полисахаридов в раствор.

Влияние температуры экстракции на сухой остаток полисахаридного экстракта представлено на рисунке 6.2.

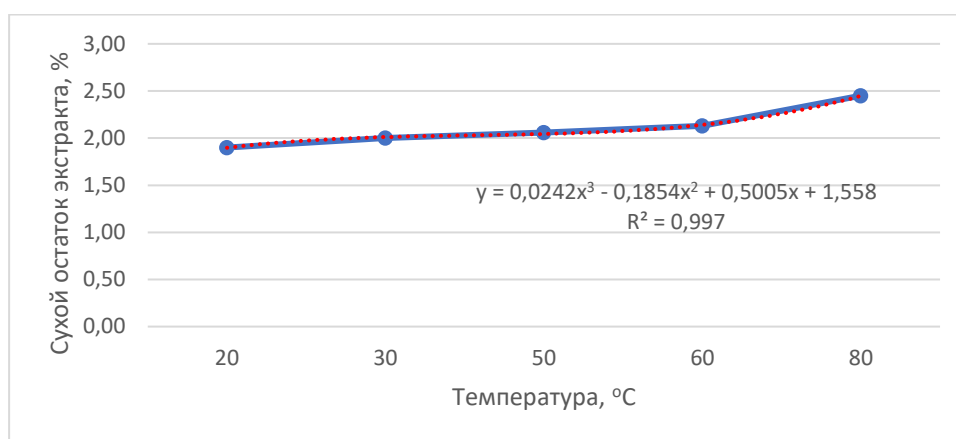


Рисунок 6.2 – Влияние температуры экстракции на сухой остаток полисахаридного экстракта

При повышении температуры процесса наблюдалось увеличение экстрактивных веществ в экстракте. Так, при 80°C количество экстрактивных веществ увеличилось на 30%. С одной стороны это свидетельствует о повышении эффективности процесса экстракции полисахаридов слизей из льняного жмыха. Однако необходимо учитывать влияние условий этого процесса на эффективность последующей экстракции белка из бесслизевое жмыха. Известно, что при температурах выше 60°C происходит тепловая денатурация белка, которая снижает его растворимость.

В связи с этим с целью предупреждения тепловой денатурации белка в льняном жмыхе экстракцию слизей из него следует проводить при температурах не выше 60°C.

Продолжительность экстракции слизей должна быть ограничена, так как с увеличением продолжительности процесса наблюдается повышение концентрации белка в экстракте слизей, что наглядно продемонстрировано на

рисунке 6.3. Это можно объяснить переходом в раствор альбуминов, которые стабильны в водных растворах и могут образовывать с полисахаридами растворимые комплексы [185]. Увеличение продолжительности процесса приводит к существенным потерям белка – выше 16% (рисунок 6.3).

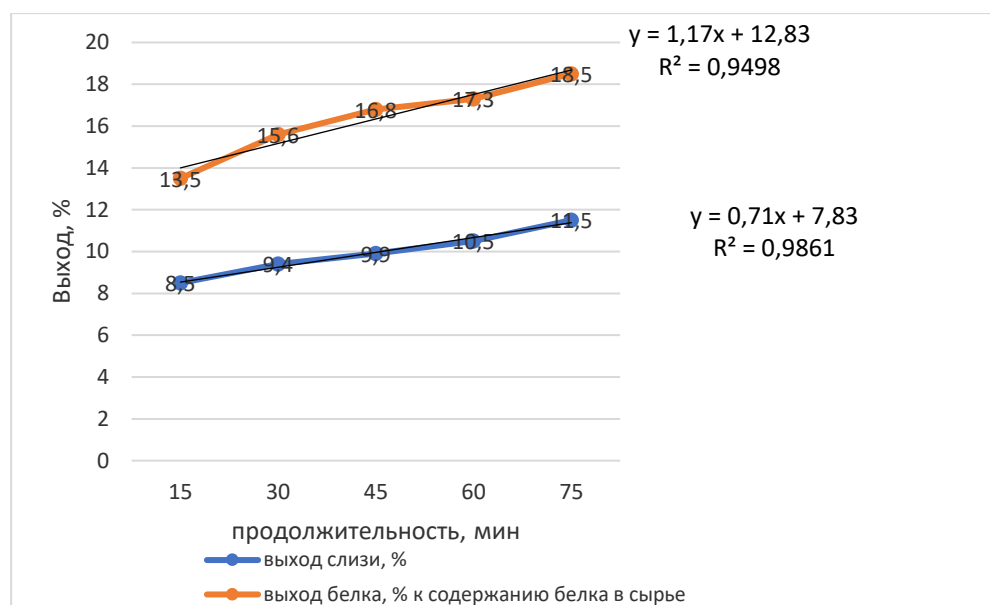


Рисунок 6.3 - Влияние продолжительности экстракции льняного жмыха на выход слизи и белка в экстракт

Известно, что условием несовместимости полисахаридов и белков является высокая ионная сила и низкое значение рН среды [184]. Полученные данные позволили определить оптимальные параметры экстракции слизи из льняного жмыха.

С целью максимального разделения полисахаридов и льняных белков экстракцию полисахаридов из льняного жмыха проводили в кислой среде при рН 4,0. В этих условиях удалось снизить выход белка вследствие соэкстракции с полисахаридами до 7,7% (по сравнению с 13,5%).

Экстракция белка из бесслизевых жмыха

Бесслизевый жмых использовали для экстракции белка. Экстракцию белка проводили 0,5-0,8 М раствором хлорида натрия в щелочной среде при рН 9-10, температуре 20-40°C в течение 1-3 часов и соотношении экстрагирующего раствора и жмыха (10-15):1.

Проведение солевой экстракции в щелочной среде позволяет совместно с водо-солерастворимыми белками выделить в раствор и щелочерастворимые. Эффективность извлечения белка обусловлена подбором таких оптимальных параметров как ионная сила экстрагирующего раствора, рН среды, соотношение экстрагирующего раствора и сырья, температура и время проведения процесса.

Полученные данные по влиянию ионной силы экстрагента на эффективность экстракции белка из льняного жмыха, представленные в таблице 6.2, коррелируют с принятыми представлениями о ходе протекания процесса экстракции из масличного сырья. Солевой раствор 0,5-0,8М при экстракции из льняного жмыха является оптимальным для осуществления растворения значительных количеств белка и получения целевого продукта высокого качества с содержанием белка не менее 75% (таблица 6.2). При этом в белковый экстракт из бесслизевоего жмыха переходит больше протеина, чем из исходного.

Таблица 6.2 — Влияние ионной силы экстрагента на эффективность выделения белка из льняного жмыха

| Ионная сила солевого раствора | Общее количество растворимого белка в экстракте, г | Выход белка в экстракт, % к содержанию белка в сырье | Содержание белка в целевом продукте, % к массе продукта |
|-----------------------------------|--|--|---|
| экстракция из бесслизевоего жмыха | | | |
| 0,15М | 12,58±0,63 | 61,3±3,1 | 75,0±3,8 |
| 0,3М | 13,34±0,67 | 65,0±3,3 | 75,3±3,8 |
| 0,5М | 13,91±0,70 | 67,8±3,4 | 76,2±3,8 |
| 0,8М | 13,95±0,70 | 68,0±3,4 | 76,8±3,8 |
| 1М | 14,10±0,71 | 68,6±3,4 | 76,8±3,8 |
| экстракция из исходного жмыха | | | |
| 0,5М | 12,31±0,62 | 60,0±3,0 | 70,2±3,5 |

Влияние рН среды на выход белка в процессе экстракции представлено в таблице 6.3. Выход белка в раствор растет с повышением рН среды, однако выше рН 10 увеличение выхода незначительно, при этом наряду с белком в раствор могут переходить нежелательные пигменты, изменяющие цвет белка.

Математическая обработка экспериментальных данных, представленных в таблице 6.2, позволила установить характер зависимости выхода белка в экстракт (Y) от ионной силы экстрагента следующего вида:

$$Y = 54,703 + 53,451x - 71,007x^2 + 31,419x^3, \quad (R^2 = 0,9975),$$

где x – ионная сила экстрагента.

Таблица 6.3 — Влияние pH среды на эффективность экстракции белка из льняного жмыха

| pH среды | Выход белка в экстракт, % к содержанию белка в сырье | Цвет целевого продукта (после сушки) |
|----------|--|--------------------------------------|
| 8 | 66,5±3,3 | светло - кремовый |
| 9 | 67,8±3,4 | светло - кремовый |
| 9,5 | 67,8±3,4 | кремовый |
| 10 | 68,0±3,4 | кремовый |
| 11 | 69,5±3,5 | коричневый |

Влияние гидромодуля на процесс экстракции белка из льняного жмыха представлено на рисунке 6.4.

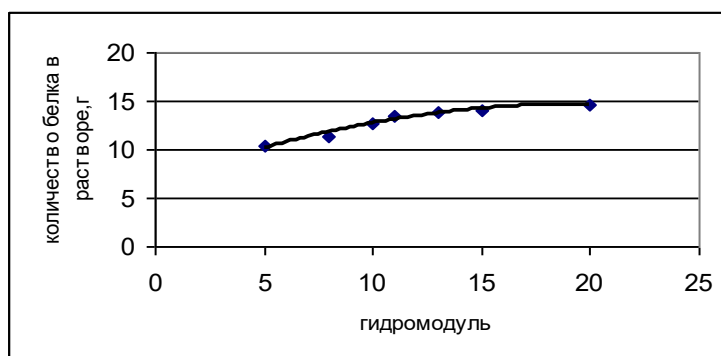


Рисунок 6.4 — Влияние гидромодуля на эффективность экстракции белка из бесслизевое льняного жмыха

Оптимальное соотношение экстрагента и сырья в данном случае не должно превышать 15, так как дальнейшее повышение объема растворителя не приводило к эффективному повышению выхода белка.

Продолжительность проведения экстракции белка в интервале 1-3ч, как это следует из графика на рисунке 6,5, достаточна для перехода, практически, 2/3 массы белка из сырья в раствор.

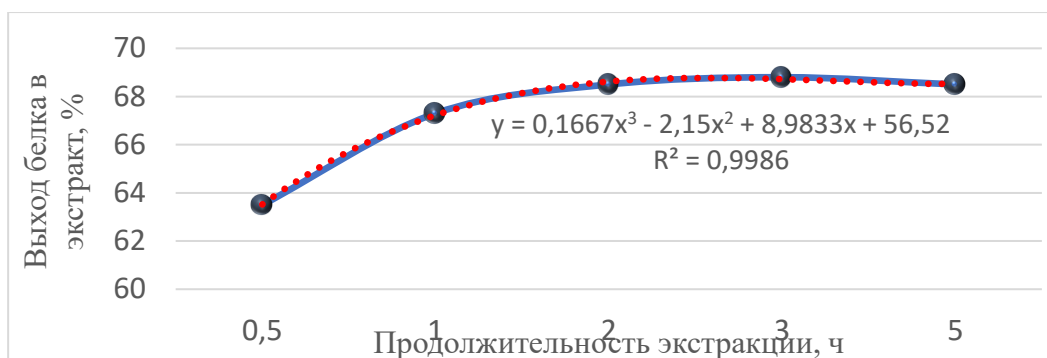


Рисунок 6.5 Влияние продолжительности экстракции на выход белка

Эффективность экстракционного процесса также зависит от температуры, (рисунок 6.6). Повышение температуры способствовало увеличению выхода белка в раствор, однако свыше 60°C протекает тепловая денатурация белков, что ограничивает их растворимость. Оптимальной следует считать температуру 40°C, хотя для снижения энергоемкости технологии можно вести процесс при комнатной температуре.

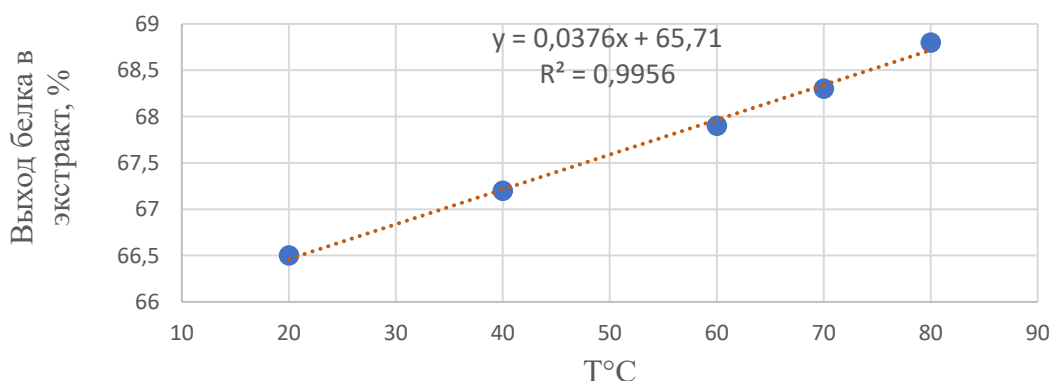


Рисунок 6.6 - Влияние температуры на эффективность экстракции белка из льняного жмыха

Проведенные исследования показали, что предварительное удаление водорастворимых полисахаридов из льняного жмыха и одностадийное проведение экстракции белка солевым экстрагентом в щелочной среде позволяет выделить не менее 60% белка в раствор и получить белковый концентрат, содержащий не менее 65% белка.

6.1.2 Технологическая схема получения белкового концентрата из льняного жмыха

На основании проведенных исследований разработана технологическая схема, представленная на рисунке 6.7 и включающая следующую последовательность операций:

- измельчение жмыха;
- удаление слизей из жмыха путем его обработки подкисленным водным раствором рН 4,0-4,5 в соотношении 1:15 при постоянном перемешивании в течение 0,5-1 ч;
- центрифугирование смеси для отделения раствора слизей от жмыха в течение 25 мин при 3000 об/мин;
- промывку бесслизевго жмыха водой в соотношении 1:10 в течение 10-15 мин при постоянном перемешивании;
- центрифугирование смеси для отделения промывной воды от бесслизевго жмыха в течение 25 мин при 3000 об/мин;
- вакуумную отгонку воды из раствора слизей и промывной воды и сушку полисахаридного комплекса;
- экстрагирование белка из бесслизевго жмыха 0,5-0,8 М раствором хлорида натрия в щелочной среде при рН 9-10, температуре 20-40°C в течение 1-3 ч и соотношении экстрагирующего раствора и жмыха (10-15):1;
- центрифугирование пульпы на жмыховую пасту и белковый экстракт в течение 25 мин при 3000 об/мин;
- сушку и измельчение жмыховой пасты;
- кислотное осаждение белка из белкового экстракта раствором соляной кислоты при рН 4,2-4,5 и его коагулирование в течение 50-60 мин;
- центрифугирование смеси для отделения белка от сывороточной воды в течение 15 мин при 3000 об/мин;
- промывку белка водой в соотношении 1:10 путем непрерывного перемешивания в течение 10-15 мин;

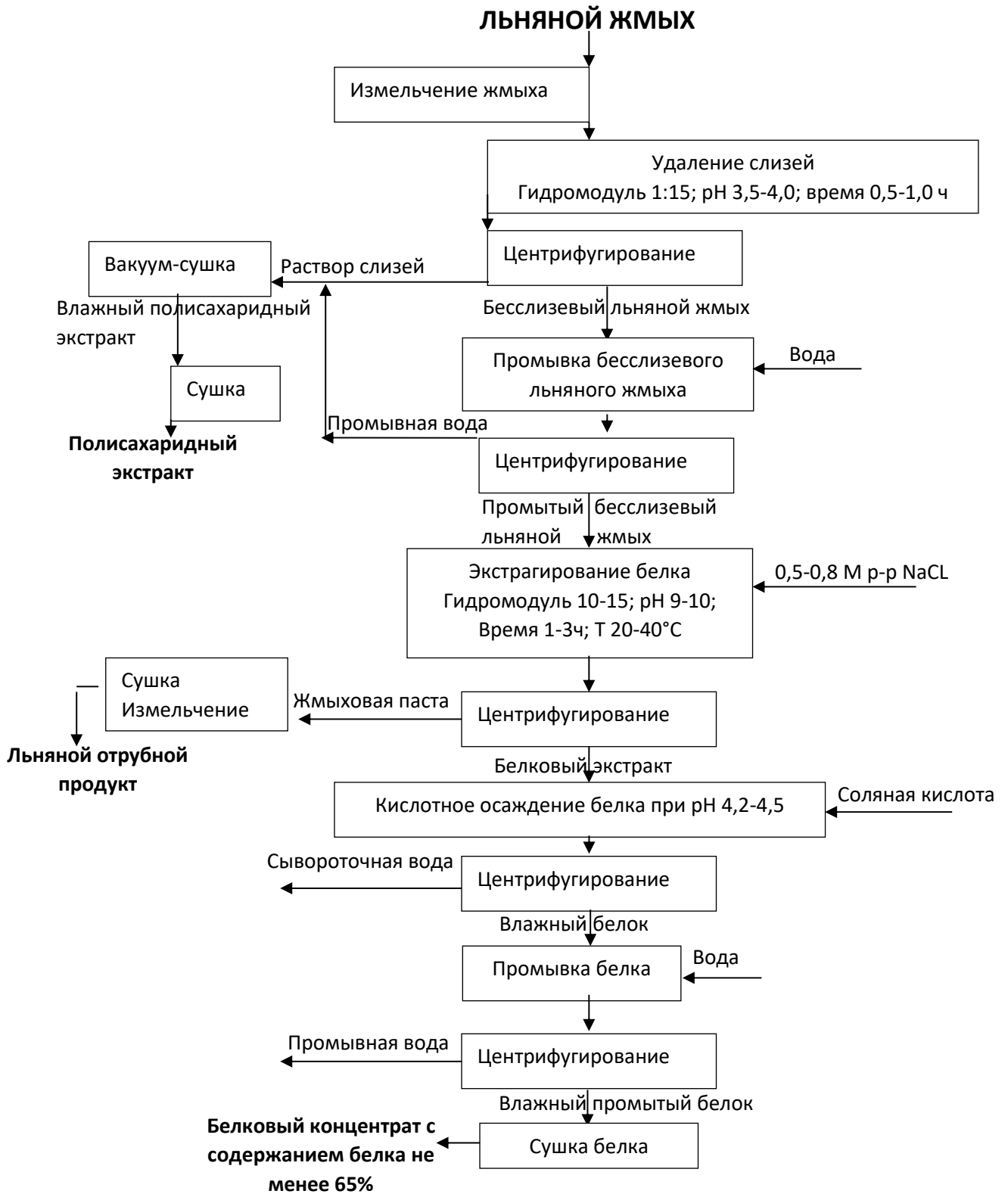


Рисунок 6.7 - Технологическая схема получения белкового концентрата из льняного жмыха

- центрифугирование смеси для отделения белка от промывной воды в течение 15мин при 3000 об/мин;

- сушку белка распылением.

Разработанные технологические решения легли в основу патента РФ № 2437552 «Способ получения белка из жмыха семян льна».

6.1.3 Разработка процесса получения белкового концентрата в пилотном масштабе

Результаты лабораторных исследований послужили основой для выбора параметров осуществления экстракции в пилотном масштабе с целью адаптации процесса для промышленного производства белкового концентрата из льняного жмыха. Технологическая стадия предварительного удаления слизей из льняного жмыха позволяет получать концентраты с высоким содержанием белка, как это показано выше. Полученные результаты коррелируют с опубликованными данными других исследователей [312, 314, 328, 445]. В таблице 6.4 представлены данные по выходу и содержанию белка в целевых продуктах, полученные в разные годы исследований (с 2010 по 2018 гг.).

Таблица 6.4 – Характеристика сырья и целевых продуктов экстракционного процесса

| 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 |

Вариабельность характеристик, как известно, определяется компонентным составом исходного сырья, условиями выделения целевого продукта.

Анализ данных, приведенных в таблице 6.4, показал, что дополнительная обработка льняного жмыха незначительно повышает содержание белка в сырье. Также следует отметить, что дополнительная обработка льняного жмыха не приводит к значительному повышению выхода продукта и содержания в нем белка.

Белковые концентраты из льняного жмыха содержат до 30% полисахаридов, которые способствуют повышению таких функционально-технологических свойств, как водоудерживающая способность, эмульгирующие свойства [98]. Такие продукты могут найти широкое применение для повышения функциональных свойств и биологической ценности пищевых систем.

Предварительное удаление слизи с последующим экстрактивным обезжириванием семян льна усложняет их переработку и, в связи с этим повышает стоимость такого сырья.

Таким образом, использование льняного жмыха для выделения белка экстракционным методом с ИЭТ осаждением является актуальным для адаптации в промышленное производство.

На основании проведенных исследований была разработана технологическая схема получения белкового концентрата из льняного жмыха для малых предприятий, представленная на рисунке 6.8.

Была выбрана температура реакционной смеси 40°C. В интервале температур 40-50°C белковые продукты характеризуются лучшей микробиальной стабильностью, по сравнению с более низкими температурами. Также pH среды 8,5-9,5 считается удовлетворительным интервалом для высокого выхода протеина и сохранения его нативной структуры [359].

С целью повышения выхода целевого продукта проводили повторную щелочную экстракцию из льняного жмыха. Для повторной экстракции использовали гидромодуль 10, а время экстракции – 1 ч. Все остальные параметры процесса были аналогичны 1-й экстракции.

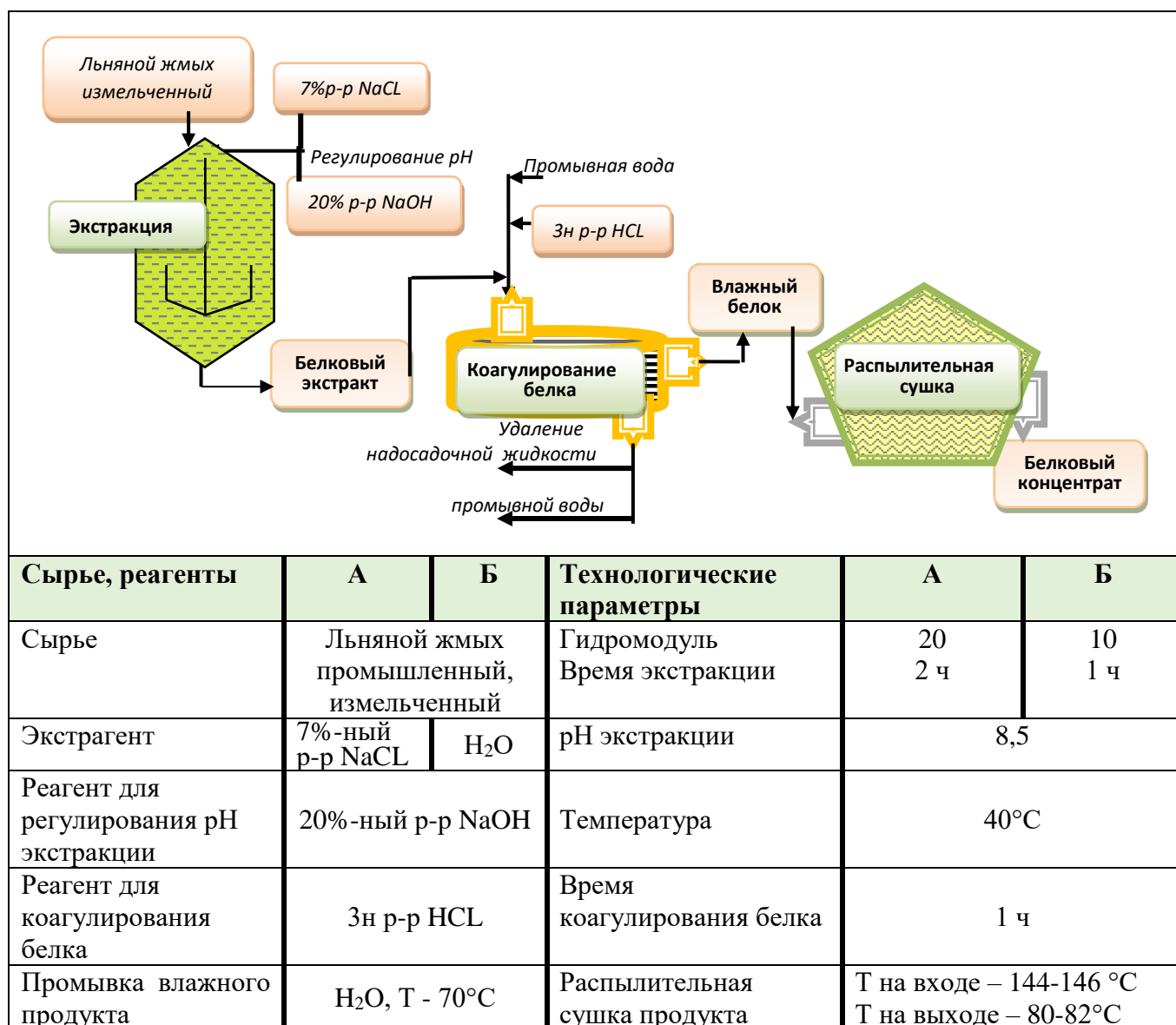


Рисунок 6.8 - Технологическая схема получения белкового концентрата из льняного жмыха: А – экстракция; Б – повторная экстракция.

Были определены режимы распылительной сушки, представленные в рисунке 6.8. Технология была опробована в условиях экспериментального цеха ВНИИМС (г. Углич). Выход продукта составил 8,0% относительно исходного сырья.

Полученный белковый продукт соответствует концентратам и имеет характеристики, указанные в таблице 5.

Таблица 6.5 - Характеристика льняного белкового концентрата

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

Определение незаменимых аминокислот 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 6.6.

Таблица 6.6 – 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) | 1,8 | 1,4 | 2,7 | 2,1 | 1,1 | 1,1 | 1,8 |
| *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), % | 173 | 189 | 101 | 85 | 163 | 182 | 195 |
| *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 [176, 289], в частности для снижения калорийности и гликемического индекса продуктов, их предлагают использовать для стабилизации овощных и фруктовых соков, как агента для предотвращения синерезиса и улучшения текстуры молочных продуктов [375].

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.

6.2.1 Сортовые особенности выделения полисахаридных продуктов из семян льна

Льняная слизь расположена в основном во внешнем слое оболочки семян.

Полисахариды 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). Экстракт, полученный при обработке льняных семян водой (настаиванием или нагреванием) называют сырой слизью.

Генотип льна существенно влияет на моносахаридный 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) [194, 316].

Состав и свойства выделенных полисахаридных продуктов зависят в свою очередь от условий экстракции, способов обработки экстракта и сушки целевого продукта [94, 354, 433].

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. В таблице 6.7 данные расположены в порядке повышения выхода полисахаридов.

Анализ данных таблицы 6.7 показал, что параметр «сумма полисахаридов» (СумПС) у 30 исследуемых сортов варьировался в широком интервале 2,20-7,25%. Содержание высокомолекулярных фракций полисахаридов в этих сортах варьировало от 30 до 70%.

Максимальный выход ПС комплекса был выявлен у сорта льна-долгунца Алексим – 7,25%. При этом содержание полисахаридов в нем составило 2,70%, а содержание высокомолекулярной фракции полисахаридов максимальное из всех исследуемых сортов – 68,00%. Такой эффект, вероятно, был обеспечен высоким содержанием высокомолекулярной фракции (ВМФр) полисахаридов.

Сравнение данных по эффективности водной экстракции из исследуемых сортов свидетельствует о большом значении сочетания показателей суммы полисахаридов и содержания в них высокомолекулярных фракций.

Таблица 6.7 – Характеристика сортов семян льна и выход ПС комплекса

| № п/п | ХАРАКТЕРИСТИКА СЕМЯН ЛЬНА | | | | | | | | Выход ПС компл. % |
|-------|---------------------------|--------------|---------|---------------------------|------------|---------------|--------|-------|-------------------|
| | Сорт | Производство | | Направление использования | Цвет семян | Содержание, % | | | |
| | | Год | Регион | | | Белок | Сум ПС | ВМфр | |
| 1 | ИСТОК | 2020 | Пенза | масличн. | желтый | 20,18 | 2,45 | 38,78 | 2,20 |
| 2 | ЕРМАК | 2020 | Пенза | масличн. | желтый | 19,33 | 2,31 | 66,70 | 2,80 |
| 3 | ЦЕЗАРЬ | 2019 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 23,13 | 1,98 | 45,50 | 3,00 |
| 4 | 281/52 | 2020 | Пенза | масличн | желтый | 18,43 | 2,03 | 64,86 | 3,00 |
| 5 | СУРСКИЙ | 2018 | Пенза | лен-долгун | коричн. | 13,69 | 2,39 | 42,55 | 3,25 |
| 6 | ДИПЛОМАТ | 2019 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 31,05 | 3,10 | 17,74 | 3,40 |
| 7 | ВНИИМК - 622 | 2020 | Пенза | масличн | коричн. | 19,19 | 2,61 | 41,03 | 3,50 |
| 8 | К-9/23-12 | 2020 | Пенза | масличн | коричн. | 17,85 | 2,57 | 70,04 | 3,60 |
| 9 | РОСИНКА | 2018 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 26,42 | 2,34 | 30,77 | 3,67 |
| 10 | ТОСТ 4 | 2018 | Новосиб | лен-долгун | коричн. | 19,66 | 3,01 | 51,41 | 3,90 |
| 11 | АЛЕКСАНДРИТ | 2018 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 25,56 | 2,80 | 66,07 | 4,10 |
| 12 | СНЕЖОК | 2019 | Пенза | масличн | желтый | 15,25 | 2,79 | 64,89 | 4,10 |
| 13 | ПОЛЕТ | 2018 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 23,15 | 6,29 | 38,16 | 4,19 |
| 14 | ПЕРЕСВЕЙ | 2019 | Псков | лен-долгун | коричн. | 22,65 | 5,95 | 29,41 | 4,25 |
| 15 | ПАМЯТИ КРЕПКОВА | 2018 | Новосиб | лен-долгун | коричн. | 26,41 | 2,38 | 33,33 | 4,30 |
| 16 | ДОБРЫНЯ | 2019 | Псков | лен-долгун | коричн. | 22,13 | 4,20 | 42,87 | 4,30 |
| 17 | ЗАРЯНКА | 2019 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 19,20 | 3,50 | 47,14 | 4,37 |
| 18 | ВОСХОД | 2019 | Псков | лен-долгун | коричн. | 27,90 | 4,64 | 48,84 | 4,42 |
| 19 | ВИЗИТ | 2018 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 17,57 | 4,38 | 34,29 | 4,50 |
| 20 | УРАЛЬСКИЙ | 2020 | Торжок | масличный | коричн. | 20,90 | 2,55 | 35,29 | 4,92 |
| 21 | ТОНУС | 2018 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 27,99 | 3,67 | 31,75 | 5,10 |
| 22 | НАДЕЖДА | 2018 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 26,90 | 1,50 | 42,67 | 5,11 |
| 23 | ТОМСКИЙ 17 | 2019 | Новосиб | лен-долгун | коричн. | 21,88 | 4,90 | 30,92 | 5,30 |
| 24 | ОМЕГА | 2018 | Канада | масличн | желтый | 15,00 | 3,30 | 44,00 | 5,30 |
| 25 | ЛЕНОК | 2018 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 21,25 | 3,30 | 39,40 | 5,50 |
| 26 | СЕВЕРНЫЙ | 2018 | Алтай | масличн | коричн. | 19,80 | 3,67 | 39,50 | 5,68 |
| 27 | РУЧЕЕК | 2018 | Торжок | масличн | коричн. | 20,29 | 2,95 | 55,50 | 5,68 |
| 28 | ДИПЛОМАТ | 2013 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 25,81 | 3,14 | 47,80 | 6,09 |
| 29 | ЛМ - 98 | 2018 | Торжок | масличн | желтый | 24,25 | 4,89 | 44,40 | 7,05 |
| 30 | АЛЕКСИМ | 2011 | Торжок | лен-долгун | коричн. | 22,68 | 2,70 | 68,00 | 7,25 |

На рисунке 6.9 наглядно проиллюстрирован разброс этих параметров при повышении выхода полисахаридных комплексов из исследуемых сортов семян льна.

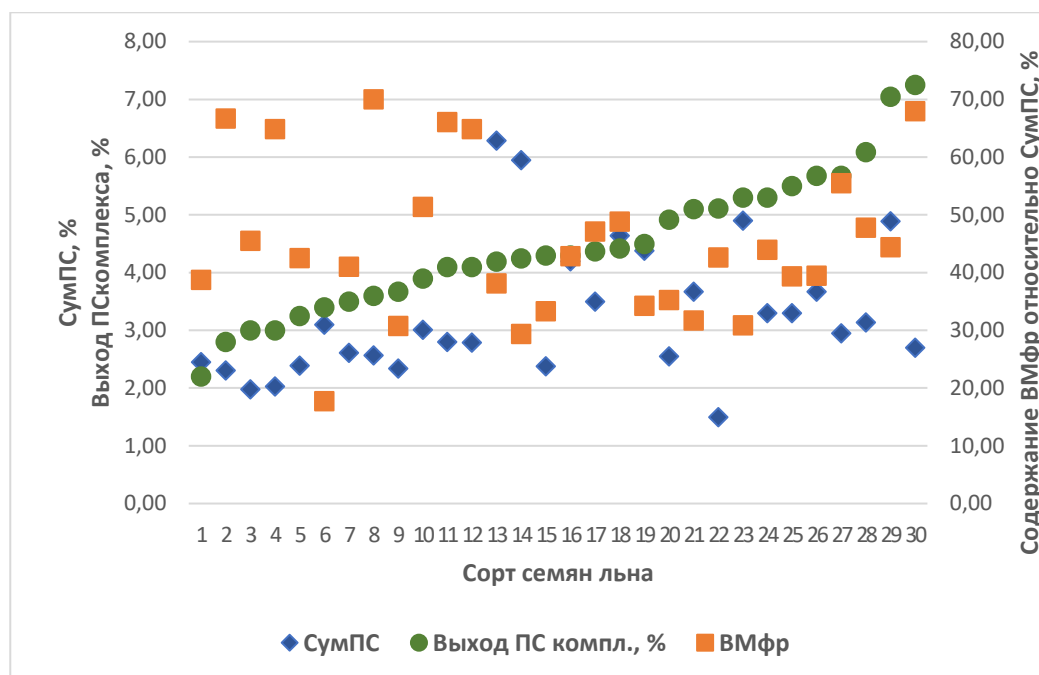


Рисунок 6.9 – Характеристика семян льна и выход ПС комплекса

Наименьший выход ПС комплекса был определен в случае экстракции из семян масличного льна сорта Исток (2,2%). При этом суммарное содержание полисахаридов и содержание высокомолекулярных фракций в этих семенах оказалось невысоким.

Таким образом, при выборе сырья для получения ПС комплекса помимо условий самого процесса экстракции и способа выделения целевого продукта необходимо учитывать сортовые характеристики по содержанию полисахаридов и их высокомолекулярных фракций.

6.2.2 Разработка технологии получения полисахаридов из семян льна

Исследования по изучению полисахаридов льняного семени, способов их выделения представлены в работах [113, 238, 268, 310, 314, 374, 434, 436, 441].

Для выделения полисахаридов применяют разнообразные методы осаждения этих веществ из разбавленных растворов. Разбавленные растворы

(экстракты водные, солевые или щелочные) концентрируют в вакууме и диализуют, после чего полисахариды осаждают из концентрированных растворов спиртом, либо экстракты после концентрирования подают на распылительную или лиофильную сушку.

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 измельченных семян вместе с полисахаридами, сырье перед экстракцией не измельчали.

Изучение влияния гидромодуля на эффективность экстракции

Эффективность экстракции определяется сочетанием таких основных факторов, как соотношение сырья и экстрагента (гидромодуль), температура, продолжительность проведения процесса.

При определении оптимального гидромодуля учитывали, что увеличение массовой доли экстрагента ведет, с одной стороны, к повышению движущей силы, а с другой - к понижению концентрации экстрагируемых веществ и увеличению стоимости целевого продукта. Так, например, при этом потребуются больший объем осаждающего агента, или более длительный процесс их концентрирования. При этом уменьшение массы экстрагента приводит к увеличению вязкости раствора, что также может увеличивать затрачиваемую мощность.

Экстракция полимеров, в том числе и полисахаридов льняной слизи, определяется их молекулярным весом. Емкость растворителя для каждого полимера индивидуальна. Поэтому и соотношение сырья и экстрагента (гидромодуль) имеет важное значение для достижения максимальной эффективности процесса.

С целью определения оптимального гидромодуля процесса экстракции исследовали зависимость выхода сухого полисахаридного экстракта от содержания сырья в определенном объеме растворителя.

На рисунке 6.8 представлена зависимость выхода сухого полисахаридного экстракта льняной слизи при экстракции полисахаридов семян льна в дистиллированной воде.

При небольших концентрациях семян льна, то есть большом избытке растворителя, полисахариды слизи активно выходят в раствор, и, как следует из графика на рисунке 6.9 - практически с максимальной эффективностью, так как их содержание в семенах льна обычно находится в интервале 8-11%.

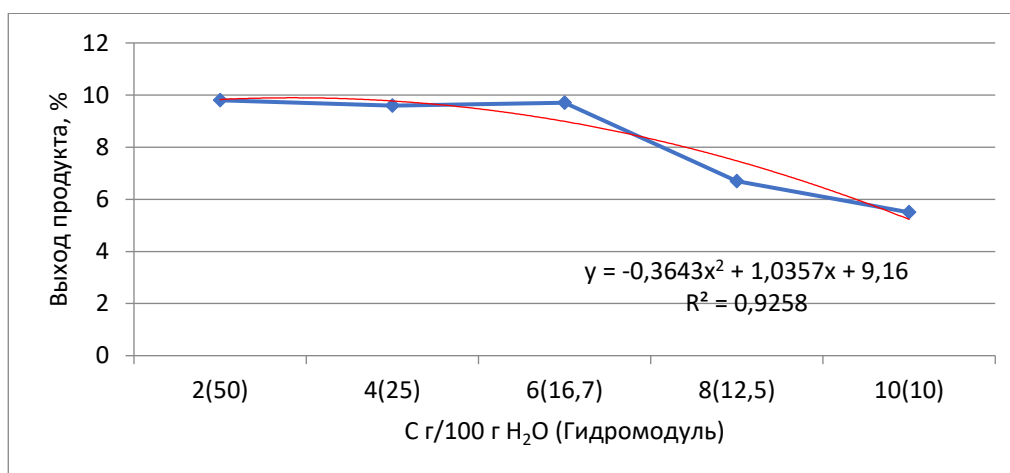


Рисунок 6.9 – Выход сухого полисахаридного экстракта из целых семян льна

С увеличением концентрации (количества семян льна в растворе) выход полимерных молекул затруднен вследствие снижения емкости растворителя, поэтому снижается выход целевого продукта. Наиболее оптимальное соотношение сырья и экстрагента варьирует в интервале 16,7-20. При более высоких значениях гидро модуля проведение экстракции не экономично, в связи с необходимостью использования большого избытка воды. Об этом свидетельствуют и результаты, полученные при проведении экстракции при различных гидро модулях при температурах 50 и 80°C, представленные на графиках рисунка 6.10.

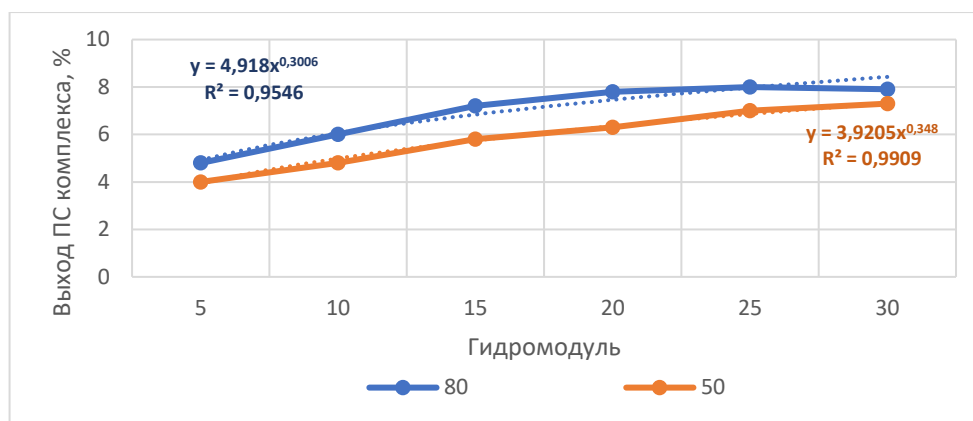


Рисунок 6.9 – Влияние гидромодуля на эффективность экстракции полисахаридов из семян льна при различных температурах

Предварительные эксперименты показали, что при гидромодуле 5-6 экстракт полисахаридов представлял собой единый конгломерат, который сложно было использовать в различных технологических операциях, например осаждения полисахаридов, отмывки и отделения семян.

Влияние температуры процесса экстракции

Влияние температуры на выход продукта представлено в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Влияние температуры экстракции на выход и характеристики полисахаридного (ПС) комплекса из семян льна

| Температура экстрагента, °С | Выход ПС, % | Содержание белка в ПС комплексе, % | Содержание масла в ПС комплексе, % | КЧ* масла, мг (КОН)/г | ПЧ* масла, ммоль (½O₂)/кг | Цвет ПС комплекса |
|-----------------------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|
| 20 | 8,5±0,4 | 5,5±0,3 | 2,5±0,1 | 0,61±0,03 | 1,6±0,08 | Светло-бежевый |
| 40 | 11,8±0,6 | 6,3±0,3 | 2,8±0,1 | 0,78±0,04 | 5,4±0,3 | Светло-бежевый |
| 60 | 12,2±0,6 | 7,5±0,4 | 3,0±0,2 | 1,02±0,05 | 10,3±0,5 | Бежевый |
| 80 | 12,9±0,6 | 9,0±0,4 | 3,3±0,2 | 5,45±0,27 | 14,0±0,7 | Бежево-коричневый |

*-КЧ (кислотное число) и ПЧ (перекисное число) масла определяли при его извлечении из семян после проведения экстракции

Температура растворителя в процессе экстракции влияла не только на выход слизи в раствор, но и качество конечного продукта.

Несмотря на увеличение выхода при повышении температуры процесса такие показатели, как цвет ПС комплекса и характеристики масла, содержащегося в конечном продукте, ухудшались. Так, увеличение температуры экстракции приводило к потемнению продукта за счет протекания реакции Майяра, в которой участвуют белки, экстрагируемые в комплексе с полисахаридами [136]. Увеличение содержания белка может также влиять технологические свойства целевого продукта. Пищевое льняное масло по своим физико-химическим показателям должно соответствовать следующим требованиям: кислотное число (КЧ) – не более 5,0 мг (KOH)/г; перекисное число (ПЧ) – не более 10 ммоль($\frac{1}{2}$ O₂)/кг [222]. Как следует из таблицы 6.8 после проведения экстракции при температурах 60-80°C значения КЧ и ПЧ масла были выше допустимых значений.

Полученные результаты по влиянию температуры экстракции на качество целевого продукта коррелируют с данными некоторых авторов. Так в ряде работ были определены параметры, обеспечивающие максимальный выход полисахаридов из семян льна, которые варьировали: температура – 80–85°C, продолжительность – 0,5–3 ч, соотношение сырья и реагента 18–25 [238, 441, 339]. Оптимальные параметры соответствовали высокому выходу продукта, однако не обеспечивали его высокого качества. Как показали авторы [238], несмотря на максимальный выход, получаемые продукты характеризовались низкими функциональными свойствами, темным цветом, высоким содержанием белка. Снижение качества целевого продукта, прежде всего, его потемнение и повышение содержания белка в целевом продукте при повышении температуры экстракции также объясняют переходом в экстракт пигментов и зольных веществ [320].

При экстракции с температурой экстрагента 20-40°C все показатели качества ПС комплекса были удовлетворительными для использования этого продукта в пищевых технологиях. Наиболее оптимальным вариантом по выходу ПС-комплекса является проведение экстракции слизей из семян льна при температуре 40°C.

Время проведения процесса экстракции 2 часа было выбрано экспериментально из условий рациональности для промышленного производства, как представлено в таблице 6.9.

Таблица 6.9 - Выход ПС комплекса при различной продолжительности процесса

| Продолжительность процесса экстракции, ч | Выход ПС комплекса, % |
|--|-----------------------|
| 1 | 5,00±0,25 |
| 2 | 5,18±0,26 |
| 3 | 5,65±0,28 |
| 4 | 6,08±0,30 |
| 5 | 8,24±0,41 |

При проведении процесса экстракции в течение 2 часов, основная масса полисахаридов слизи выходит в раствор. Следует отметить, что обычно полисахариды льняной слизи выделяют из экстрактов осаждением избытком (3-4 –кратным) этилового или изопропилового спирта [113, 261, 268, 315, 354]. Именно необходимость использования больших избытков осадителя является одним из факторов, сдерживающих промышленное производство этого ценного пищевого ингредиента. Получение сухого полисахаридного экстракта в качестве целевого продукта позволяет исключить стадию осаждения и за счет этого сократить количество реактивов, продолжительность производственного цикла и себестоимость продукта.

В таблице 6.10 представлены данные по проведению экстракции полисахаридов из семян льна с различным количеством циклов.

Таблица 6.10 – Варианты проведения экстракции полисахаридов из семян льна

| Количество циклов экстракции | Время 1 цикла, ч | Общая продолжительность экстракции, ч | Выход экстрактивных веществ, %* | Удельный расход воды, г/г сырья** |
|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 12,0 | 21,7 |
| | 2 | 2 | 12,3 | 21,7 |
| | 3 | 3 | 12,7 | 21,7 |
| | 4 | 4 | 13,6 | 21,7 |
| | 5 | 5 | 14,7 | 21,7 |
| 3 | 1 | 3: | 13,06: | 32 |
| | | 1цикл – 1ч | 10,16 | 27 |
| | | 2цикл – 1ч | 1,70 | |
| | | 3цикл – 1ч | 1,20 | |
| *расчет по сухому остатку экстракта | | | | |
| **с учетом промывки бесслизевых семян | | | | |

Как следует из полученных данных основное количество водорастворимых веществ из оболочки семян льна выходит в раствор в течение первого часа экстракции. Повторное проведение экстракции или увеличение продолжительности экстракции в масштабах промышленного производства не эффективно. При этом повышается удельный расход воды.

На основании проведенных исследований была разработана технологическая схема получения сухого полисахаридного экстракта из семян льна, представленная на рисунке 6.10.

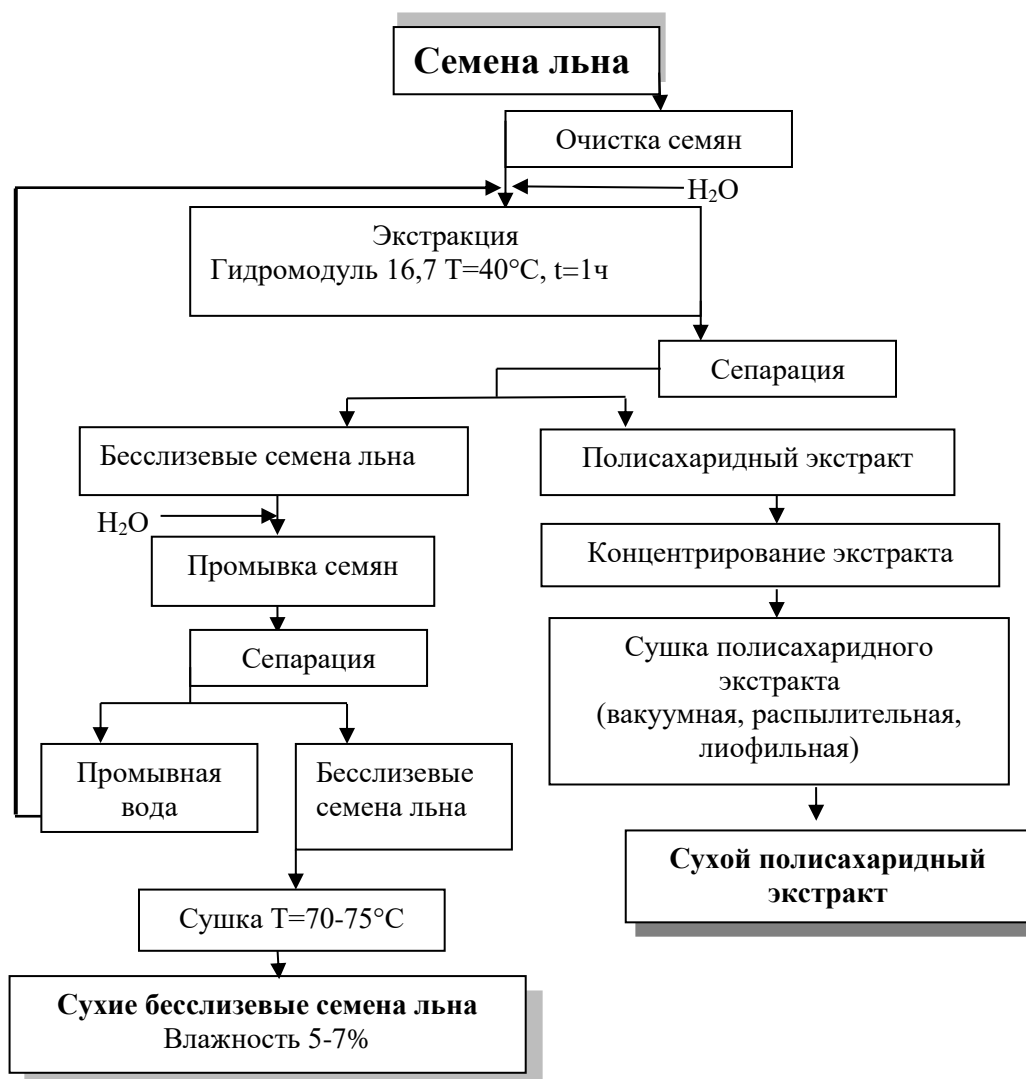


Рисунок 6.10 – Технологическая схема получения сухого полисахаридного экстракта из семян льна

Получение полисахаридного продукта из семян льна включает следующие операции:

- очистка сырья;
- экстракция слизей водой при соотношении сырья и экстрагента 1:16,7 при 40°C в течение 1 часа при постоянном перемешивании;
- сепарация смеси для отделения экстракта слизей фильтрованием через фильтр из синтетического волокна, либо центрифугированием;
- промывка отделенных семян льна водой в соотношении 1:(5-8) в течение 15-20 мин;
- отделение семян льна от промывной воды фильтрацией через фильтр из синтетического волокна, либо центрифугированием;
- сушка семян льна при температуре 70-75°C;
- концентрирование экстракта слизей до 1/3 объема при использовании роторного испарителя при температуре 40°C;
- сушка продукта под вакуумом (температуре не выше 40°C), либо распылительная сушка, либо лиофильная сушка.

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. При этом выбор гидромодуля должен проводиться исходя из таких характеристик семян льна, как суммарное количество полисахаридов слизей и содержания в них высокомолекулярной фракции. 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.

По разработанной технологической схеме была проведена опытная наработка сухого полисахаридного экстракта из семян льна в условиях экспериментального цеха ВНИИМС (г. Углич).

В качестве сырья использовали семена льна сорта Цезарь с невысоким суммарным содержанием полисахаридов и их высокомолекулярной фракции (таблица 6.7). Учитывая эти характеристики сырья процесс экстракции проводили при гидромодуле 15 в течение 2 ч. Сырой экстракт перед распылительной сушкой подвергали концентрированию на роторном испарителе. Целевой продукт после распылительной сушки представлял собой мелкодисперсный порошок.

Разработанная технология защищена патентом РФ № 2639770. Акт о наработке представлен в Приложении.

Сухой полисахаридный экстракт имел характеристики, указанные в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – 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.

Анализ проведенных исследований показал, что, варьируя температуру и продолжительность процесса, можно получать продукты с заданным содержанием белка. В таблице 6.12 представлены параметры процесса водной

экстракции и соответствующие им показатели получаемых целевых продуктов по содержанию белка.

Таблица 6.12 – Содержание белка в целевых продуктах при варьировании льняного сырья и параметров процесса водной экстракции

| Сырье | Температура, °С | Время, мин | Содержание белка в продукте, % |
|--------------|-----------------|------------|--------------------------------|
| Семена льна | 40 | 30-35 | 7-8 |
| Семена льна | 70 | 60 | 10-12 |
| Жмых льняной | 25 | 60 | 30-35 |
| Жмых льняной | 60 | 40 | 45-47 |

Продукты, получаемые при разных температурах экстракции характеризуются различным содержанием белка и, в связи с этим - различными функционально-технологическими свойствами.

6.3 Определение функционально-технологических свойств пищевых ингредиентов, полученных из семян льна и льняного жмыха

В настоящей части раздела определяли характеристики образцов белковых и полисахаридных продуктов, полученных в экспериментальном цехе с использованием распылительной сушки и лабораторных условиях.

Функционально-технологические свойства пищевых ингредиентов определяют область их использования в пищевых технологиях. Водоудерживающая, жироудерживающая и эмульгирующая способность, гелеобразующие свойства определяются индивидуальными характеристиками белковых и полисахаридных молекул, такими как поверхностное распределение полярных и неполярных групп, гидрофобность, характер их взаимодействия друг с другом.

В семенах льна белки и полисахариды слизи образуют ассоциаты, поэтому они экстрагируются совместно. Условия проведения процесса влияют на

соотношение этих ингредиентов в продукте [316, 407]. Соотношение этих биополимеров определяет их функционально-технологические свойства.

Метод распылительной сушки зарекомендовал себя как экономичный, воспроизводимый, масштабируемый процесс для производства порошкообразной продукции и успешно применяется в пищевой, фармацевтической, химической промышленности.

Порошки с хорошей сыпучестью легко дозируются и смешиваются. Благодаря минимальной продолжительности распылительной сушки (15-30с) не происходит развития окислительных, денатурационных процессов, что позволяет сохранить биохимический состав продукции и является преимуществом этого вида сушки.

Пищевые ингредиенты, полученные из льняного сырья (белковый концентрат и полисахаридный экстракт) с использованием распылительной сушки представляют собой новые порошкообразные продукты.

С целью оценки перспектив использования в пищевых технологиях определяли функционально - технологические свойства порошков белковых и полисахаридных продуктов, полученных методом распылительной сушки.

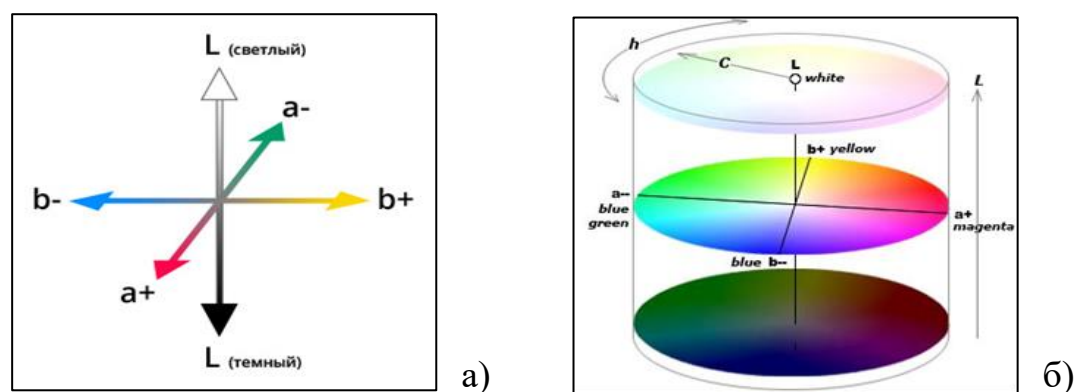
Характеристики этих продуктов представлены в таблице 6.13.

Таблица 6.13 - Характеристика белкового концентрата и полисахаридного экстракта из льняного сырья

| Показатель | Полисахаридный экстракт | Белковый концентрат |
|---|-------------------------|---------------------|
| Физико-химические свойства | | |
| Содержание белка, % | 5,0 | 58,0 |
| Содержание жира, % | 1,8 | 5,0 |
| Содержание полисахаридов, % | 89,0 | 25,5 |
| Содержание влаги, % | 3,0 | 3,0 |
| Зольность, % | 1,2 | 3,5 |
| pH 1% водного раствора | 6,0 | 6,0 |
| Функционально-технологические свойства | | |
| Водоудерживающая способность (ВУС), г/г | 25,6 | 4,5 |
| Жирудерживающая способность (ЖУС), г/10г продукта | 8,0 | 8,5 |
| Эмульгирующая способность, % | 80 | 75 |

По уровню показателей функциональных свойств, представленных в таблице 6.13, опытные образцы не уступали аналогичным показателям соевых белковых концентратов промышленного производства (Китай). Так, значения ВУС для разных марок соевых белковых концентратов составляли 4,5-5,0 г/г, ЖУС – 7,5 г/10г продукта [34, 74].

При производстве пищевых продуктов большое внимание уделяется оценке цветовых характеристик используемых пищевых порошков, которые в настоящее время могут быть установлены с помощью современных приборов, например, «CR-410» (Konica Minolta - Япония). Цветовое пространство измеряемых характеристик указанного прибора в соответствии со стандартом L:a:b представлено на рисунке 6.11 а), б).



а) – схематическое изображение, б) – объемное изображение

Рисунок 6.11 - Цветовое пространство при определении цветовых характеристик пищевых продуктов в соответствии со стандартом L:a:b - при использовании прибора «CR-410» (Konica Minolta - Япония)

Цветовые характеристики опытных образцов представлены в таблице 6.14. Полученные образцы характеризовались цветовой гаммой от светло-бежевого до бежевого цвета.

Таблица 6.14 - Цветовые характеристики порошков из льняного сырья

| Наименование порошков | Цветовые характеристики CR-410 (L:a:b) | | |
|-------------------------|--|--------|-------|
| | L | a | b |
| Белковый концентрат | 93,56 | - 0,80 | 14,45 |
| Полисахаридный экстракт | 76,69 | 2,86 | 13,00 |

Реологические характеристики растительных порошков контролируются по показателям прессования. Кривые прессования исследованных материалов показаны на рисунке 6.12.

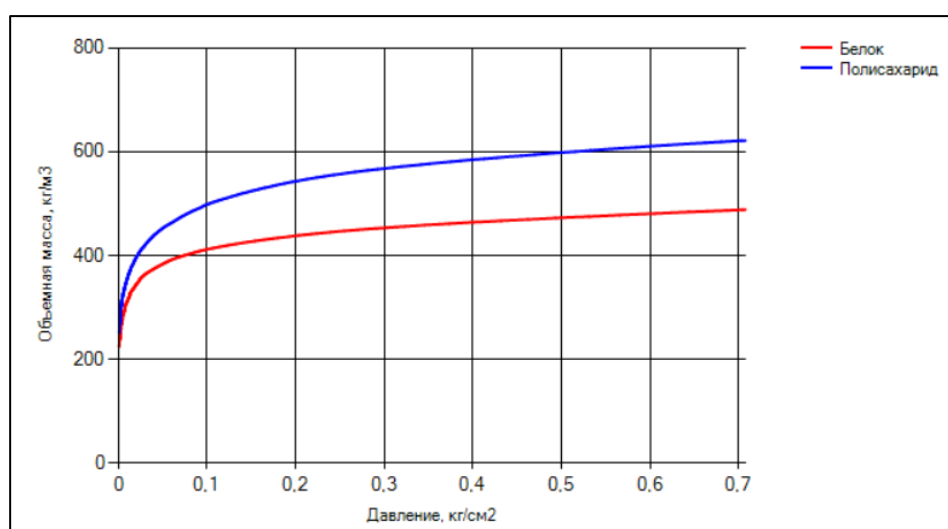


Рисунок 6.12 - Кривые прессования порошков белкового концентрата и полисахаридного экстракта, полученных из льняного сырья

Прессование порошкообразного материала в матрице сопровождается уменьшением его объема и, следовательно, увеличением объемной массы и плотности. Одним из показателей уплотняемости материала является степень уплотнения β .

Величина β определяется как отношение плотности порошка в матрице к насыпной плотности:

$$\beta = \rho_{\text{макс}} / \rho_{\text{нач.}} \quad (6.1)$$

Вторым показателем уплотняемости материала является его относительное уплотнение ε (относительное уменьшение его высоты в матрице). Перечисленные показатели β и ε связаны между собой следующим соотношением

$$\beta = 1/(1 - \varepsilon) \quad (6.2)$$

Значения β и ε при сжимающей нагрузке 5 кг совместно с начальной насыпной плотностью, а также результаты обработки диаграмм сжатия в соответствии с линейной моделью $H(F) = A_0 + A_1 \cdot F$ приведены в таблице 6.15.

Таблица 6.15 - Показатели диаграммы сжатия порошков белкового концентрата и полисахаридного экстракта, полученных из льняного сырья

| Наименование показателя | Белковый концентрат | Полисахаридный экстракт |
|--|---------------------|-------------------------|
| Начальная плотность, $\rho_{\text{нач}}$, кг/м ³ | 225 | 251 |
| Максимальная плотность, $\rho_{\text{макс}}$, кг/м ³ | 488 | 621 |
| Условная предельная плотность $\rho_{\text{пред}}$, кг/м ³ | 585 | 745 |
| Степень уплотнения β | 2,713 | 2,475 |
| Относительное уплотнение ε | 0,540 | 0,596 |
| Коэффициенты линейной модели: | | |
| A_0 , мм | 17,04 | 18,87 |
| A_1 , мм/г | 0,000435 | 0,000407 |

Показатели прессования: K_0 (коэффициент сжатия прессования) и α (коэффициент потери сжимаемости) рассчитывали с использованием известного в практике реологических исследований уравнения Н.Ф. Кунина и Б.Д. Юрченко:

$$\rho = \rho_{\text{пр}} - (K_0/\alpha) \cdot \exp(-\alpha \cdot p) \quad (6.3)$$

где: $\rho_{\text{пр}}$ - условная предельная плотность;

K_0 - коэффициент прессования;

α - коэффициент потери сжимаемости;

p - давление прессования, Па.

Показатели кривой прессования: коэффициенты прессования и сжимаемости K_0 и α для исследованных порошков приведены в таблице 6.16.

Таблица 6.16 - Показатели кривых прессования и насыпная плотность порошков белкового концентрата и полисахаридного экстракта, полученных из льняного сырья

| Пищевые растительные порошки | Условная предельная плотность $\rho_{\text{пред}}$, кг/м ³ | Коэффициенты | | Насыпная плотность, P , кг/м ³ |
|------------------------------|--|--------------|----------|---|
| | | K_0 | α | |
| Белковый концентрат | 565 | 123 | 0,751 | 225 |
| Полисахаридный экстракт | 745 | 207 | 0,897 | 251 |

Полученные результаты свидетельствуют о существенном различии, как коэффициентов прессования, так и коэффициентов потери сжимаемости, которые могут использоваться для классификации полученных белковых и полисахаридных порошков по их предрасположенности к образованию конгломератов и формированию структуры, с учетом технологических факторов производства пищевых продуктов с использованием разработанных пищевых порошков из льняного сырья.

В результате проведенных исследований было показано, что порошки белкового концентрата и полисахаридного экстракта, полученные с использованием распылительной сушки, обладали высокими функциональными свойствами, в частности водоудерживающей, жирудерживающей и эмульгирующей способностями, превышающие аналогичные показатели промышленных соевых белковых концентратов.

Цветовые характеристики исследуемых образцов соответствовали цветовой гамме от светло-бежевого до бежевого.

Белковый концентрат и полисахаридный экстракт имели насыпную плотность (кг/м³) 225 и 251, соответственно.

Были оценены характеристики прессования порошков белкового концентрата и полисахаридного экстракта, полученных из льняного сырья.

Полученные данные свидетельствуют о предрасположенности исследуемых 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, эмульгаторов в пищевых технологиях.

Для изучения функционально-технологических свойств лабораторных образцов были получены 6 видов белок-полисахаридных продуктов, характеристики которых представлены в таблице 6.17.

Таблица 6.17 – Физико-химические свойства льняных белок-полисахаридных продуктов

| Продукт | | Содержание компонентов, % | | | | |
|----------------------|---|---------------------------|-----|----------|-----------------|----------------|
| Образец | Название | Белок | Жир | Углеводы | | Влажност ть |
| | | | | общие | раствори мые | |
| М₁ | Льняная мука полуобезжиренная | 28,0 | 5,0 | 57,0 | 11,4 | 10,0 |
| М₂ | Льняная мука обезжиренная | 34,2 | 3,6 | 54,4 | 10,8 | 7,8 |
| М₃ | Льняная белковая мука | 36,6 | 7,8 | 51,3 | 10,3 | 4,3 |
| М₄ | Льняной концентрат | 65,3 | 2,3 | 25,4 | 5,0 | 7,0 |
| М₅ | Сухой экстракт полисахаридов | 7,0 | 2,4 | 87,7 | 80 | 3,0 |
| М₆ | Льняная белковая мука без полисахаридов слизи | 37,0 | 7,5 | 51,1 | 10,2 | 4,4 |

Продукт М₁ – льняная мука полуобезжиренная, получали из льняного жмыха измельчением и калиброванием. Продукт М₂ – льняная мука обезжиренная, получали обезжириванием льняной муки органическим растворителем (гексаном). Продукт М₃ – льняная белковая мука, получали экстракцией белков и полисахаридов в водной среде. Продукт М₄ – концентрат льняного белка, получали при обработке льняного жмыха в щелочной среде. Продукт М₅ – сухой экстракт полисахаридов, получали из семян льна экстракцией в водной среде. Продукт М₆ – белковая мука без полисахаридов слизи, получали обезжириванием бесслизевой льняной муки.

Для сравнительного анализа использовали соевые белковые продукты, популярные в пищевых технологиях.

В таблице 6.18 представлены функционально-технологические свойства льняных и соевых продуктов.

Таблица 6.18 – Функционально-технологические свойства льняных и соевых продуктов

| Образец | Продукт | Функционально-технологические свойства | | | | |
|----------------|--|--|-------------------|--------|-------|------------------|
| | | рН 5% р-р | ВУС, г/г прод. | ЖУС, % | ЭС, % | ККГ, % 4°C |
| М ₁ | Льняная мука полуобезжиренная | 6,7 | 6,0 | 60 | 99 | 10 |
| М ₂ | Льняная мука обезжиренная | 6,8 | 6,5 | 80 | 100 | 15 |
| М ₃ | Льняная белковая мука | 6,5 | 6,5 | 73 | 100 | - |
| М ₄ | Льняной концентрат | 6,1 | 4,5 | 80 | 74,3 | 12 |
| М ₅ | Сухой экстракт полисахаридов | 6,0 | 12 | 85 | 80 | - |
| М ₆ | Льняная белковая мука без полисахаридов слизи | 6,8 | 2,5 | 87 | 80 | 27 |
| - | *Соевая мука обезжиренная [34] | 6,1 | 3,2 | 80 | 71 | - |
| - | **Концентрат соевого белка [144] | 6,2 | 5,0 | - | 65 | 18 |

*содержание белка в соевой обезжиренной муке – 57,0%. **содержание белка в концентрате соевого белка – 68,0%.

Для растворов исследуемых продуктов характерна нейтральная рН (таблица 6.18) также, как и для соевых белковых продуктов, и при введении в пищевые системы они не должны изменять их органолептические показатели.

Большое значение для пищевых компонентов имеет водоудерживающая способность (ВУС), от которой зависит консистенция, сочность и выход готовой продукции. Как следует из анализа данных таблицы 6.18, льняные продукты обладают высокими значениями этого показателя. Причем большей величиной характеризуются продукты со значительным содержанием растворимых углеводов – это льняная мука различных видов. Сухой экстракт полисахаридов семян льна обладает максимальной величиной ВУС. При отсутствии полисахаридов (образец М₆) значение ВУС резко снижается. Соевые продукты с

высоким содержанием белка показывали более низкие значения этого показателя по сравнению с аналогичными видами продуктов из семян льна.

Важной характеристикой сырья, предназначенного в качестве белкового обогатителя при производстве жиросодержащих пищевых продуктов, является способность связывать и прочно удерживать жир. Все льняные продукты характеризуются высокой жиросодерживающей способностью (ЖУС). Значения ЖУС сопоставимы с аналогичными показателями соевых продуктов.

Наилучшей эмульгирующей способностью (ЭС) из исследуемых образцов обладают различные виды льняной муки, в которых процент нерасслоившейся эмульсии выше 99%. Вероятно, и здесь проявляется синергетическое взаимодействие белковых и полисахаридных биополимеров семян льна. У соевых белковых продуктов значения ЭС на 30-40% меньше.

Данные по определению критической концентрации гелеобразования (ККГ) – от 10 до 15%, свидетельствуют о хорошей гелеобразующей способности льняных белков - содержащих продуктов и сопоставимы с соевым белковым концентратом (18%). Чем ниже концентрация белкового продукта для образования геля, тем лучшей гелеобразующей способностью обладает образец [31].

Сравнение значений показателей функциональных свойств исследуемых льняных продуктов с продуктами, в которых предварительно удалены полисахариды льняной слизи, подтверждает синергетическое взаимодействие этих биополимеров (таблица 6.18).

Стремление к дополнительной очистке и повышению содержания белка не всегда целесообразно, особенно когда важны водоудерживающие, эмульсионные, гелеобразующие свойства.

Влияние таких параметров процесса экстракции, как температура, было показано на примере полисахаридных комплексов. С этой целью были определены значения ВУС и ЖУС для полисахаридных комплексов, полученных при различных температурах экстракции (рисунок 6.13).

Снижение ВУС полисахаридных комплексов при увеличении температуры экстракции связано, вполне вероятно, с повышением содержания белка в этих продуктах (таблица 6.17). Повышение содержания белка в ПС комплексе способствует повышению ЖУС.

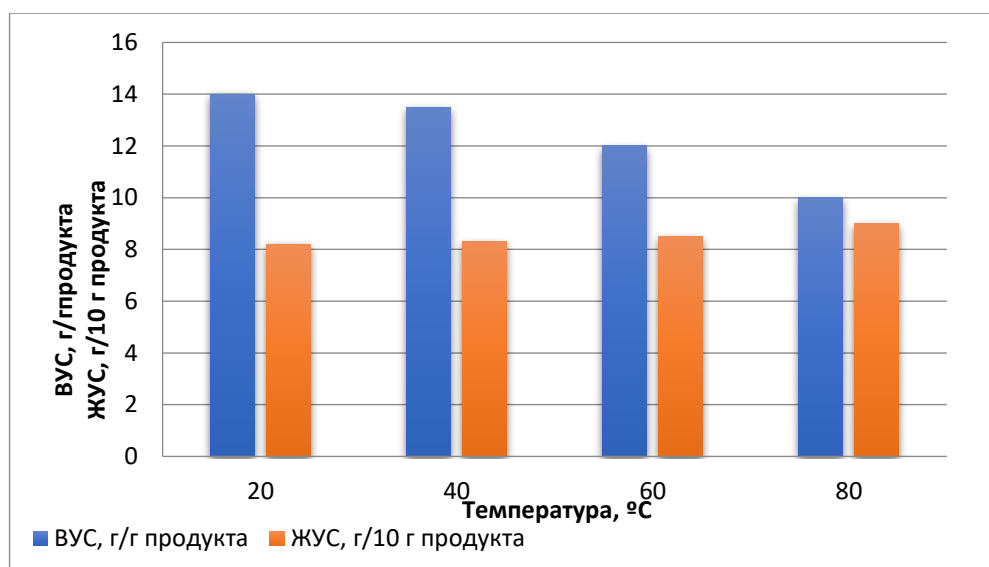


Рисунок 6.13 – Влияние температуры экстракции на функционально-технологические свойства ПС комплексов из семян льна

Полученные результаты коррелируют с данными авторов [315]. Результаты исследований свидетельствуют о важности выбора температуры экстракции для получения целевого продукта с необходимыми функционально-технологическими характеристиками.

Оценка эмульгирующих свойств полисахаридных комплексов на примере модельных эмульсий

Полисахаридные продукты (ПС экстракты и ПС комплексы), получаемые из семян льна по своим функционально-технологическим свойствам относятся к технологическим добавкам типа гидроколлоидов. Благодаря наличию полисахаридов со свойствами гидроколлоидов, семена льна и льняная мука оказывают положительное влияние на качество хлебобулочных и мучных

кондитерских изделий, они приобретают все большую популярность в хлебопечении [13, 48, 93].

Для обеспечения высоких значений эмульгирующей способности и стойкости модельных эмульсии с использованием полисахаридных экстрактов семян льна определяли оптимальные технологические параметры подготовки и способы их введения.

В таблице 6.19 представлены результаты визуальной оценки эмульсий, приготовленных на лабораторных перемешивающих устройствах с различной интенсивностью перемешивания:

- на лабораторной мешалке с погружным стеклянным элементом лопастного типа с небольшим числом оборотов (600 об/мин),
- с помощью блендера (Braun) с большим числом оборотов (5000 об/мин)
- гомогенизатора MPW-340 (Польша) со скоростью вращения 10000 об/мин.

Для сравнения полисахаридные экстракты диспергировались при температуре 20°C в воде с различной концентрацией (0,1%; 0,25%; 0,5%).

Анализ данных, представленных в таблице 6.19, показал, что все эмульсии, приготовленные с использованием лабораторной мешалки, под воздействием центробежных сил и температуры расслоились независимо от концентрации.

Эмульсии, приготовленные с использованием блендера после термостатирования и центрифугирования, оказались более устойчивы и расслоились на 2 (при концентрации 0,1%) или на 3 (при концентрации 0,5%) части.

При использовании гомогенизатора все приготовленные эмульсии показали устойчивость разной степени (от 60 до 75%). В статических условиях через 2 суток образцы, приготовленные с использованием лабораторной мешалки, также расслоились. Однако образцы эмульсий, приготовленные с использованием блендера и гомогенизатора, показали устойчивость эмульсии (от 40% на блендере до 80% на гомогенизаторе). Результаты свидетельствуют, что с увеличением интенсивности перемешивания повышается устойчивость эмульсии.

Таблица 6.19 – Влияние способа приготовления на внешний вид и эмульсионную стабильность ПС-комплекса семян льна

| Содержание ПС комплекса в воде, % | Способ приготовления (эмульгирования) | | | Визуальная оценка | Эмульсионная стабильность % эмульсия/водная часть | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|------------|--|---|---|
| | Тип мешалки | Температура, °С | Время, мин | | Термостатирование, (75°С, 15 мин) Центрифугирование (15 мин 2500 об/мин) | Отстаивание 2 суток |
| 0,1 | Лабораторная мешалка | 20 | 5 | Однородная суспензия неустойчивая. | 50/50 | Полное расслоение |
| 0,25 | | 20 | 5 | Однородная суспензия неустойчивая | 50/50 | Расслоение масло/суспензия/ водная часть 20/30/50 |
| 0,5 | | 20 | 5 | Однородная суспензия неустойчивая | 50/50 | Полное расслоение |
| 0,1 | Блендер «Braun» | 20 | 5 | Однородная эмульсия молочного цвета без расслоения | 40/60 | 75/25 |
| 0,25 | | 20 | 5 | Неоднородная эмульсия (комками) молочного цвета без расслоения | Расслоение: масло/эмульсия/ водная часть 40/20/40 | Масло/эмульсия 40/60 |
| 0,5 | | 20 | 5 | Неоднородная эмульсия (комками) молочного цвета без расслоения | Расслоение масло /эмульсия/ водная часть 35/30/35 | 60/40 |
| 0,1 | Гомогенизатор MPW-302 | 20 | 2 | Однородная эмульсия молочного цвета без расслоения | 40/60 | 70/30 |
| 0,25 | | 20 | 2 | Однородная эмульсия молочного цвета без расслоения | 30/70 | 70/30 |
| 0,5 | | 20 | 2 | Однородная эмульсия молочного цвета без расслоения | 25/75 | 80/20 |

В таблице 6.20 представлены результаты более детальной оценки способа подготовки эмульсии при одной концентрации - 0,25%, с нагреванием и выдержкой при температуре от 93 до 95°C, а также в водном растворе хлорида натрия, сахарозы и с добавлением в воду небольшого количества уксусной кислоты для создания рН среды, аналогичной эмульсиям майонезного типа.

Таблица 6.20 – Влияние способов приготовления на эмульсионную стабильность и способность к образованию эмульсии 0,25% раствора ПС комплексов семян льна

| Способ приготовления | | | Эмульгирующие свойства, % эмульсия/водная часть | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|---|-------------------------------|--|
| Тип мешалки | Температура °С | Время мин | Центрифугирование | | Отстаивание 1 сутки |
| | | | 1 мин | 3 мин | |
| Лабораторная мешалка | 20 | 5 | масло /водная суспензия 50/50 | масло/водн. суспензия 40/60 | Расслоение масло/водная часть 50/50 |
| | 20 | 10 | 60/40 | 42/58 | 56/44 |
| | 95 | 10 | масло /водная суспензия 50/50 | масло /водная суспензия 50/50 | Расслоение масло/суспензия/водная часть 45/35/20 |
| Блендер «Braun» | 20 | 5 | масло/эмульсия 34/66 | масло/эмульсия 34/66 | масло/эмульсия/водная часть 40/24/36 |
| Гомогенизатор MPW-302 | 20 | 4 | 90/10 | 80/20 | 76/24 |
| | 95 | 4 | 100 | 72/28 | 70/30 |
| | 20 с подкислением | 4 | 100 | 70/30 | 66/34 |
| | 20 0,1 М NaCL | 4 | 70/30 | 45/55 | 62/38 |
| | 20 0,1 М р-р сахарозы | 4 | 100 | 70/30 | 70/30 |

Использование в качестве диспергирующего агента лабораторной мешалки и блендера приводило к расслоению эмульсий как после центрифугирования, так и после отстаивания. При диспергировании водных растворов (вода-масло) на высокоскоростном гомогенизаторе эмульсии были достаточно устойчивы после центрифугирования (от 76 до 90%) и отстаивания в течение нескольких суток (от 70 до 80%). Особенно хорошие результаты наблюдались для эмульсий с подкислением (рН 5,5) и в растворе сахарозы (от 70 до 100%).

Влияния температурной обработки на устойчивость эмульсий выявлено не было, несмотря на высокую устойчивость эмульсий, полученных с использованием гомогенизатора, т.к. показатель - % эмульсии не отличался от аналогичных показателей эмульсий, приготовленных при комнатной температуре. Повышение концентраций растворов ПС комплексов до 0,5% приводило к неоднородности и появлению комков. Вполне вероятно в этом случае не происходило полного растворения ПС комплексов в растворителе.

Таким образом, ПС комплексы семян льна проявляли высокую эмульгирующую способность и эмульсионную стабильность при создании эмульсий (вода-масло), повышающуюся при увеличении скорости и времени перемешивания; в растворе сахарозы и в подкисленной воде они показали высокие эмульгирующие свойства: практически 100% эмульсии. Такие эмульсии проявляли стабильность в течение не менее 3 суток.

Полученные результаты позволяют рассматривать ПС комплексы семян льна в качестве эмульгаторов-стабилизаторов пищевых систем: соусов, майонезов, хлебобулочных и сбивных кондитерских изделий.

Таким образом, по комплексу функциональных свойств белок-полисахаридные продукты из семян льна являются эффективными пищевыми ингредиентами, как в качестве технологических добавок, так и в качестве веществ, повышающих пищевую ценность продукта.

Заключение по главе 6

Разработаны технологии пищевых ингредиентов семян льна для создания ассортимента продуктов здорового питания: мучных изделий, эмульсионных продуктов, паст различного назначения.

Определены условия предварительного выделения полисахаридов льняной слизи из льняного жмыха, снижающие соэкстракцию белка до 7,7%. Определены параметры выделения белка из бесслизевоего жмыха, позволяющие экстрагировать не менее 60% протеинов сырья.

Обоснована целесообразность применения классического способа экстракции с ИЭТ осаждением для получения белкового концентрата из льняного жмыха в промышленном масштабе.

Было показано, что для проведения эффективной экстракции полисахаридов льняной слизи необходимо корректировать гидромодуль процесса с учетом сортовых характеристик сырья по содержанию суммы полисахаридов и их высокомолекулярных фракций.

Выявлено, что опытные образцы белкового концентрата и полисахаридного экстракта, полученные с использованием распылительной сушки в виде мелкодисперсных порошков, характеризуются высокими функциональными свойствами, в частности водоудерживающей способностью – 4,5 г/г и 25,6 г/г, соответственно; жирудерживающей способностью – 8,5г/10г и 8,0 г/10г, соответственно; эмульгирующей способностью – 75% и 80%, соответственно, превышающие аналогичные показатели промышленных соевых белковых концентратов. Цветовые характеристики исследуемых образцов, полученные на приборе «CR-410», соответствовали цветовой гамме от светло-бежевого до бежевого; белковый концентрат и полисахаридный экстракт имели насыпную плотность (кг/м^3) 225 и 251, соответственно.

Полисахаридные комплексы семян льна проявляли высокую эмульгирующую способность и эмульсионную стабильность при создании модельных эмульсий (вода-масло), повышающиеся при увеличении скорости и времени перемешивания; в растворе сахарозы и в подкисленной воде они показали высокие эмульгирующие свойства: практически 100% эмульсии, которые проявляли стабильность в течение не менее 3 суток.

Глава 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.

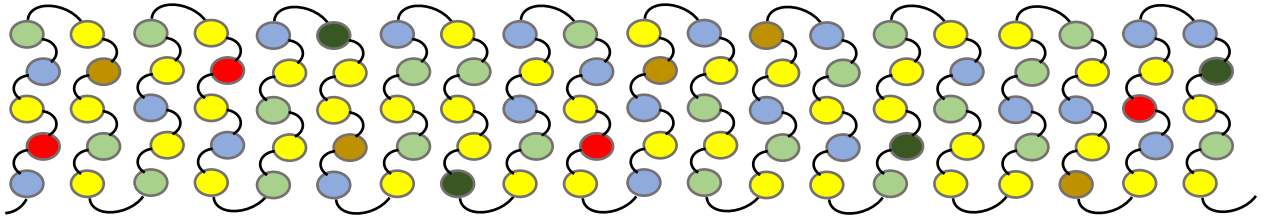
7.1 Ингредиенты семян льна в пищевых системах

К основным функциональным ингредиентам в составе семян льна относятся белки, полиненасыщенные жирные кислоты класса ω -3, пищевые волокна, представленные водорастворимыми полисахаридами, расположенными в слизистых клетках семян. Их содержание входит в состав основных веществ, определяющих пищевую ценность семян льна и продуктов их переработки.

Анализ данных химического состава семян льна и льняной муки (полуобезжиренной и обезжиренной) показал, что основные пищевые вещества в них содержатся в следующих пропорциях:

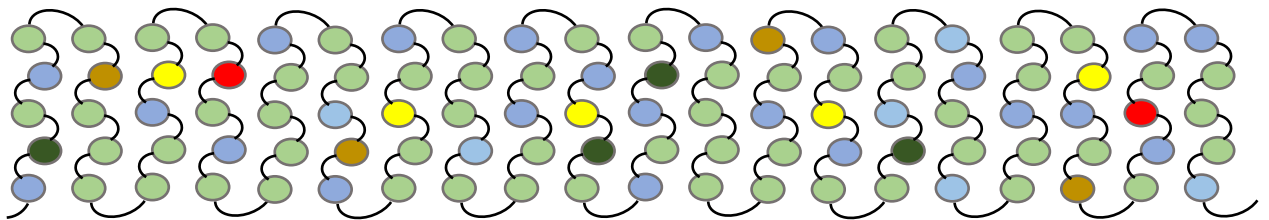
- в семенах льна - 22% белка, 40% жира, 28% углеводов, 3% пищевых волокон;
- в полуобезжиренной льняной муке – 28% белка, 9% жира, 52% углеводов; 4% пищевых волокон;
- в обезжиренной льняной муке – 50% белка, 2% жира; 42% углеводов, 4% пищевых волокон.

На основании перечисленных данных были разработаны модели матриц пищевой ценности семян льна и льняной муки, полуобезжиренной и обезжиренной, представленные на рисунке 7.1.



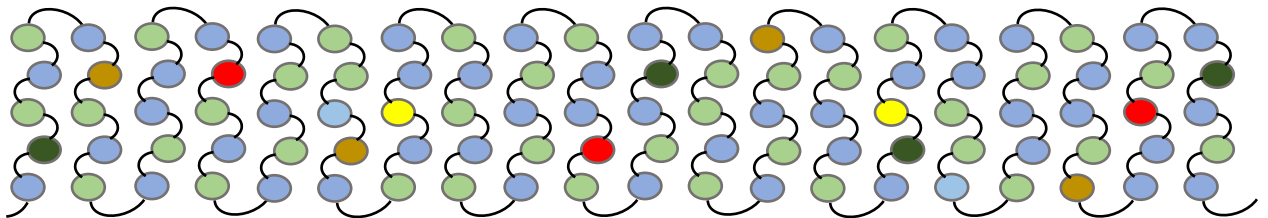
а)

Модель матрицы пищевой ценности семян льна



б)

Модель матрицы пищевой ценности полуобезжиренной льняной муки



в)

Модель матрицы пищевой ценности обезжиренной льняной муки



Рисунок 7.1 - Модели матриц пищевой ценности семян льна (а) и льняной муки: полуобезжиренной (б) и обезжиренной (в)

На рисунке 7.1 визуализировано изменение соотношения основных ингредиентов при последовательной переработке семян льна в муку. Семена льна характеризуются значительным содержанием липидов и белка, льняная мука, прежде всего - высоким содержанием белка. Именно реакционноспособные группы этих компонентов, некоторые из которых представлены в таблице 7.2, в первую очередь, могут проявлять различную активность при введении такого сырья в различные пищевые системы. При этом активность определяется природой функциональных групп, условиями воздействия на пищевые системы, параметрами технологических процессов (температуры, ионной силы и пр.) и хранения.

Таблица 7.2 -Некоторые реакционноспособные группы ингредиентов семян льна

| Реакционноспособные группы | Ингредиент |
|--|---|
| -NH ₂ , -NH-C(=NH)NH ₂ | Белки, пептиды, аминокислоты, другие соединения, содержащие амины |
| SH, -S-S- | |
| -OH, -CHO, R ₂ C=O | Белки, углеводы, низкомолекулярные карбонильные соединения |
| ·OH, RO·, ROO·, ROOH | Некоторые продукты окисления липидов |
| -CH=CH-, -CH=CH-CH ₂ -CH=CH- | Ненасыщенные жиры |
| -COOH, -O-SO ₃ H, | Пектины и другие полисахариды |

Физико-химические взаимодействия между компонентами пищевых систем обуславливают их органолептические, технологические свойства, образование дисперсных систем, таких как тесто, эмульсии и пр. Белки в пищевых системах в связи с различным происхождением могут отличаться по аминокислотному составу, последовательности аминокислот, размеру, форме, а, следовательно, обладать различными функциональными свойствами. В результате взаимодействия реакционных групп белков могут образовываться ковалентные и нековалентные межмолекулярные связи с последующей агрегацией белков, что приводит к изменению функционально-технологических свойств пищевых систем.

В пищевых системах типа эмульсий «масло-в-воде» структурирующую роль выполняют жировые глобулы, распределенные в водной дисперсионной среде. Их взаимодействие с белками приводит к стабилизации системы.

Полисахариды, их взаимодействия друг с другом, белками и липидами также влияют на функционально-технологические свойства пищевых систем: влагоудерживающую способность, вязкость и другие реологические свойства.

Льняная мука, как продукт переработки семян льна, помимо высокого количества белка, содержит все незаменимые аминокислоты (НАК). 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.

В таблице 7.3 представлены данные по аминокислотному составу пшеничной и льняной муки, используемые для расчета показателей их биологической ценности, а также композитной муки на их основе: 90% пшеничной + 10% льняной.

Таблица 7.3 – Содержание НАК и аминокислотные скоры пшеничного и льняного белка

| Аминокислота | эталон ФАО/ ВОЗ 2013 [447] | Пшеничная [450] | Льняная ^[202] | Пшеничная +10% льн. | Аминокислотный скор, % | | |
|---|--|--------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------|------------------------|
| | | | | | Пшеничная | Льняная | Пшеничная +10% льн. |
| Содержание аминокислоты, г/100 г белка | | | | | Аминокислотный скор, % | | |
| Валин | 4,0 | 4,8 | 8,2 | 6,6 | 120 | 205 | 165 |
| Изолейцин | 3,0 | 5,0 | 5,7 | 6,2 | 166 | 183 | 207 |
| Лейцин | 6,1 | 7,7 | 9,8 | 9,8 | 125 | 160 | 161 |
| Лизин | 4,8 | 2,5 | 4,3 | 3,5 | 52 | 90 | 73 |
| Метионин ⁺ Цистин | 2,3 | 3,8 | 4,2 | 4,7 | 163 | 183 | 204 |
| Треонин | 2,5 | 3,0 | 6,1 | 4,4 | 120 | 246 | 176 |
| Триптофан | 0,7 | 1,1 | 3,4 | 1,9 | 171 | 517 | 288 |
| Фенилаланин + Тирозин | 4,1 | 8,3 | 15,9 | 11,9 | 202 | 388 | 290 |
| Гистидин | 1,6 | 2,1 | 2,5 | 2,6 | 125 | 156 | 163 |

Исходя из анализа научных источников и предварительных собственных экспериментальных данных такой состав комpositной пшенично-льняной муки не снижает качество хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

Как следует из данных таблицы 7.3, при добавлении льняной муки повышается минимальный аминокислотный скор (по лизину) с 52% (для пшеничной муки) до 73%, то есть на 40%.

Также введение льняной муки в состав комpositной в количестве 10% повышает сумму незаменимых аминокислот, которая составляет 40% от суточной потребности в НАК взрослого человека (весом 70 кг). Расчетные данные представлены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 - Оценка степени удовлетворения суточной потребности в аминокислотах комpositной пшенично-льняной муки.

| Наименование незаменимой аминокислоты | Рекомендации ФАО/ВОЗ суточной потребности в НАК для взрослых [447] | | Содержание НАК, г/100 г продукта | | | Степень удовлетворения суточной потребности в НАК, % |
|--|--|--------------|----------------------------------|-------------|--|--|
| | мг/кг веса | г/70 кг веса | Пшеничная | Льняная | Комpositная: пшеничная (90%) + льняная (10%) | |
| Валин | 26 | 1,8 | 0,5 | 2,3 | 0,7 | 37,4 |
| Изолейцин | 20 | 1,4 | 0,5 | 1,6 | 0,6 | 45,0 |
| Лейцин | 39 | 2,7 | 0,8 | 2,7 | 1,0 | 9,9 |
| Лизин | 30 | 2,1 | 0,3 | 1,2 | 0,4 | 16,7 |
| Метионин+Цистин | 15 | 1,1 | 0,4 | 1,2 | 0,5 | 44,8 |
| Треонин | 15 | 1,1 | 0,3 | 1,7 | 0,5 | 45,1 |
| Триптофан | 4 | 0,3 | 0,1 | 1,0 | 0,2 | 75,0 |
| Фенилаланин+Тирозин | 25 | 1,8 | 0,9 | 4,5 | 1,2 | 69,7 |
| Сумма незаменимых НАК | | 12,2 | 3,7 | 16,1 | 5,0 | 41,0 |
| Степень удовлетворения суточной потребности в НАК, % | | | 31 | 132 | | |

Сумма НАК в льняной муке, содержащей 25% белка, как показали расчеты (таблица 7.4), на 32,4% превышает суточную потребность в общем количестве незаменимых аминокислот.

Полученные значения формализованных показателей биологической ценности композитной муки, содержащей 10% льняной, представленные в таблице 7.5, свидетельствуют о повышении биологической ценности пшеничного белка при дополнении его льняным, выраженное в увеличении суммы НАК на 34,7%, коэффициента сбалансированности аминокислотного состава – на 5%, индекса незаменимых аминокислот (ИНАК) – на 37,4%.

Таблица 7.5 - Биологическая ценность белков композитной муки и ингредиентов

| Показатель биологической ценности | Льняной белок | Пшеничный белок | Белок композитн. муки 10% льн. |
|--|----------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Суммарное содержание незаменимых АК, г/100гбелка | 60,11 | 38,30 | 51,60 |
| C_{min} , (лизин)% | 90 | 52 | 73 |
| Коэффициент сбалансированности АК состава R_c | 0,44 | 0,39 | 0,41 |
| Коэффициент разбалансированности АК состава КРАС, % | 56,50 | 60,50 | 59,00 |
| БЦ, % | 43,50 | 39,50 | 41,00 |
| Показатель сопоставимой избыточности σ , мг/г эталонного белка | 377,18 | 445,40 | 416,36 |
| Индекс незаменимых аминокислот ИНАК | 2,09 | 1,31 | 1,80 |
| Отношение Σ НАК к общему азоту белка (ОАБ) в 100 г белка Σ НАК/ОАБ | 3,76 | 2,39 | 3,23 |

Таким образом, льняную муку целесообразно использовать для обогащения незаменимыми аминокислотами традиционного хлебопекарного сырья, в частности пшеничной муки, степень удовлетворения суточной потребности в НАК которой составляет 30,7%.

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

Хлебопекарное тесто относят к многокомпонентной коллоидной дисперсионной системе. Основными компонентами пищевых дисперсионных систем являются белки, углеводы, липиды, вода, пищевые волокна, минеральные

вещества, а также минорные компоненты в составе ингредиентов, относящиеся к биологически активным веществам.

Тесто можно представить в виде вязкоупругого гидратированного матрикса белков клейковины с внедренными в него зернами крахмала, фрагментами клеточных стенок различного размера, нейтральными и полярными липидами, воздухом и газами брожения.

Структура теста в первую очередь определяется наличием дисульфидных связей. Дисульфидные связи – это единственные ковалентные поперечные связи между боковыми цепями белков. Они бывают внутри- и межмолекулярными. Они образуются, когда два S_{α} -остатка сближаются при соответствующей ориентации и происходит окисление сульфгидрильных групп молекулярным кислородом. Благодаря образованию связи между боковыми цепями дисульфидные связи способствуют стабилизации складчатой структуры белка.

Добавление льняной муки (или измельченных семян льна) к пшеничной в процессе изготовления теста влияет на качество клейковинного каркаса. Льняные белки, не имея проламиновой фракции снижают содержание клейковины в общем белковом матриксе. При этом карбоксильные и гидроксильные группы молекул полигалактуроновой кислоты, представляющей основу кислой фракции полисахаридов льняных слизей, способны независимо друг от друга вступать в реакции с белковыми молекулами, что приводит, в частности, к образованию дополнительных сульфидных связей в виде S-S мостиков за счет окисления S-H групп белков муки, «усиливая» структуру клейковины.

Полисахариды слизей семян льна являются источником дополнительно вносимых сахаров, таких как арабиноза, ксилоза, галактоза, которые относятся к классу восстанавливающих сахаров, и активно вступают во взаимодействие с белками и аминокислотами (реакция Майяра).

Продукты окисления непредельных жирных кислот (линоленовой, линолевой) гидропероксиды могут выступать в качестве окислителей и

способствовать образованию поперечных дисульфидных связей, повышающих стабильность структуры мучных изделий.

Взаимодействия полисахаридов с белками, липидами влияют на различные функциональные свойства пищевых систем: влагоудерживающую способность, вязкость и другие реологические свойства. Наличие полисахаридов типа гидроколлоидов (слизей) в составе семян льна будет способствовать повышению влажности теста и готовых изделий.

Проведенные нами исследования по введению добавок льняных продуктов с различным содержанием протеина в состав хлебопекарного теста позволили выявить особенности теста с указанными компонентами. Характеристика используемых лабораторных образцов льняных продуктов представлена в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Характеристика образцов льняных продуктов

| Наименование образца | Наименование показателя | | | | | |
|---|-------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------|--------------------------------------|
| | Содержание белка, % | Содержание липидов, % | Содержание углеводов, % | Массовая доля влаги, % | Зольность, % | Цвет |
| Измельченные семена льна | 22,0 | 40,0 | 26,0 | 8,5 | 3,5 | От светло-коричневого до коричневого |
| Полуобезжиренная льняная мука | 28,5 | 9,0 | 52,0 | 7,2 | 3,3 | От серого до коричневого |
| Обезжиренная льняная мука | 45,0 | 2,0 | 45,0 | 5,0 | 3,0 | От светло-серого до серого |
| Микронизированная полуобезжиренная льняная мука | 29,0 | 10,0 | 53,0 | 5,0 | 3,0 | От светло-коричневого до коричневого |
| Льняной белковый концентрат | 70,0 | 4,0 | 18,0 | 5,0 | 3,0 | От светло-кремового до кремового |

Замещение части пшеничной муки (3, 6, 9%) льняными продуктами способствует увеличению общего содержания белка в пшенично-льняных смесях, что иллюстрируют результаты расчетов, приведенные в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Общее содержание белка в пшенично-льняной композитной муке (%)

| Наименование компонента в смеси | Содержание льняного компонента в смеси, % | | | Увеличение содержания белка (%) при введении 1% льняного компонента |
|---|---|-------|-------|---|
| | 3 | 6 | 9 | |
| Измельченные семена льна | 10,94 | 11,28 | 11,63 | 1,07 |
| Полуобезжиренная льняная мука | 11,14 | 11,67 | 12,22 | 1,70 |
| Обезжиренная льняная мука | 11,63 | 12,66 | 13,70 | 3,20 |
| Микронизированная полуобезжиренная льняная мука | 11,15 | 11,70 | 12,26 | 1,73 |
| Льняной белковый концентрат | Содержание в смеси, % | | | |
| | 1 | 5 | 10 | 15 |
| | 11,19 | 13,57 | 16,54 | 19,51 |

При этом в зависимости от содержания белка в льняном продукте каждый его 1% может обогащать смесь белком в интервале 1,0–5,6%.

Однако вследствие отсутствия проламиновой фракции в белковом комплексе семян льна при замещении части пшеничной муки происходит снижение клейковинных белков (таблица 7.8).

Таблица 7.8 - Влияние льняного белка на характеристики теста из композитной муки

| Наименование и содержание (%) льняного продукта в композитной муке | | Показатели композитной муки | | |
|--|----|--------------------------------|-------------------------|----------------|
| | | Содержание сырой клейковины, % | Показатель ИДК, ед. пр. | Кислотность, % |
| Контроль (пшеничная мука I с.) | 0 | 31,7 | 97,2 | 3,0 |
| Измельченные семена льна | 3 | 31,0 | 96,0 | 4,8 |
| | 6 | 29,4 | 91,4 | 5,0 |
| | 9 | 25,0 | 78,0 | 5,4 |
| Полуобезжиренная льняная мука т | 3 | 30,2 | 88,3 | 4,0 |
| | 6 | 23,0 | 83,4 | 4,2 |
| | 9 | 13,4 | 68,7 | 4,8 |
| Обезжиренная льняная мука | 3 | 30,0 | 83,4 | 3,2 |
| | 6 | 20,4 | 75,4 | 3,4 |
| | 9 | 14,5 | 69,0 | 3,6 |
| Микронизированная полуобезжиренная льняная мука | 3 | 30,1 | 90,2 | 4,0 |
| | 6 | 23,2 | 76,0 | 4,6 |
| | 9 | 14,2 | 67,5 | 5,0 |
| Льняной белковый концентрат | 1 | 30,4 | 86,8 | 3,0 |
| | 5 | 28,8 | 82,4 | 3,0 |
| | 10 | 27,1 | 76,3 | 3,0 |
| | 15 | 22,0 | 72,8 | 3,0 |

Укрепление клейковинного каркаса вследствие повышения упругих свойств объясняется известным влиянием ПНЖК (вносимых с льняным ингредиентом) на процессы формирования клейковинных белков при образовании теста. Гидропероксиды, образующиеся при окислении непредельных жирных кислот (например, линолевой и линоленовой) кислородом воздуха, окисляют сульфгидрильные группы белков с образованием дисульфидных связей, обуславливающих упрочнение структуры белковой молекулы.

Было установлено, что в зависимости от вводимого количества компонента и содержания в нем функциональных ингредиентов - снижение содержания сырой клейковины варьировало в пределах 20–57%; повышение упругости клейковины - в интервале 19-23%.

Как было показано ранее реологические свойства, в частности, эффективная вязкость при добавлении двух видов муки полуобезжиренной и обезжиренной в количестве 6 и 9%, увеличивалась на 22,3 и 264%, а также на 30,7 и 193%, соответственно. Такое влияние на реологические свойства могут оказывать как дополнительное введение белка в составе льняной муки, так и полисахариды льняной слизи, обладающие высокой гидрофильностью. Они способны легко пептизироваться в воде с образованием вязких гелей.

Проведение лабораторных выпечек и определение показателей экспериментальных образцов изделий, представленные в таблице 7.8 позволили выявить, что льняные компоненты положительно влияли на качество готовых изделий.

Удельный объем формового хлеба увеличивался при добавлении измельченных семян льна на 2,7–4,5%; при добавлении полуобезжиренной льняной муки удельный объем увеличивался на 1,0-12,3%, полуобезжиренной микронизированной на 1,8-8,1%; в случае обезжиренной льняной муки увеличение этого показателя составило 1,7-8,3%, а при введении льняного белкового концентрата на 3,2-6,3%. Пористость формового хлеба с льняной мукой увеличивалась, в среднем на 4,8%.

Таблица 7.8 – Показатели образцов экспериментальных ХБИ с льняными компонентами

| Наименование образца льняного продукта | Содержание льняного продукта, % | Уд.объем см ³ /100г | Пористость, % | Формоустойчивость, % | Кислотность, град. | Влажность мякиша, % |
|---|---------------------------------|--------------------------------|---------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| Контроль | 0 | 220 | 40,5 | 0,57 | 2,6 | 39,5 |
| Измельченные семена льна | 3 | 226 | 40,8 | 0,53 | 2,8 | 39,5 |
| | 6 | 228 | 41,8 | 0,62 | 3,1 | 40,0 |
| | 9 | 230 | 43,0 | 0,62 | 3,2 | 40,0 |
| Полуобезжиренная льняная мука | 3 | 241 | 44,0 | 0,49 | 3,4 | 40,0 |
| | 6 | 247 | 46,6 | 0,48 | 3,2 | 40,2 |
| | 9 | 222 | 41,0 | 0,50 | 3,2 | 40,2 |
| Обезжиренная льняная мука | 3 | 238 | 48,0 | 0,40 | 2,9 | 40,2 |
| | 6 | 240 | 50,0 | 0,44 | 3,0 | 40,4 |
| | 9 | 224 | 46,3 | 0,52 | 3,2 | 40,4 |
| Микронизированная полуобезжиренная льняная мука | 3 | 238 | 44,9 | 0,47 | 2,7 | 39,0 |
| | 6 | 236 | 44,6 | 0,50 | 2,8 | 39,4 |
| | 9 | 224 | 42,0 | 0,60 | 2,9 | 39,4 |
| Льняной белковый концентрат | 3 | 234 | 55,0 | 0,53 | 3,1 | 40,0 |
| | 6 | 227 | 44,0 | 0,60 | 3,2 | 40,2 |

Влажность мякиша хлеба увеличивалась, но он оставался эластичным. Органолептический анализ показал, что хлеб с льняной мукой имел достаточно развитую пористость, эластичный мякиш, хорошо выраженный хлебный вкус и аромат.

Максимальное увеличение удельного объема ХБИ на фоне соотношения пищевых веществ в льняных продуктах иллюстрирует рисунок 7.9.

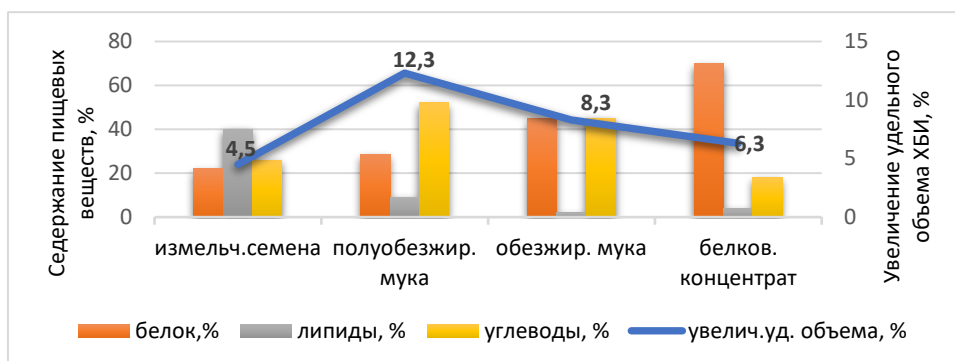


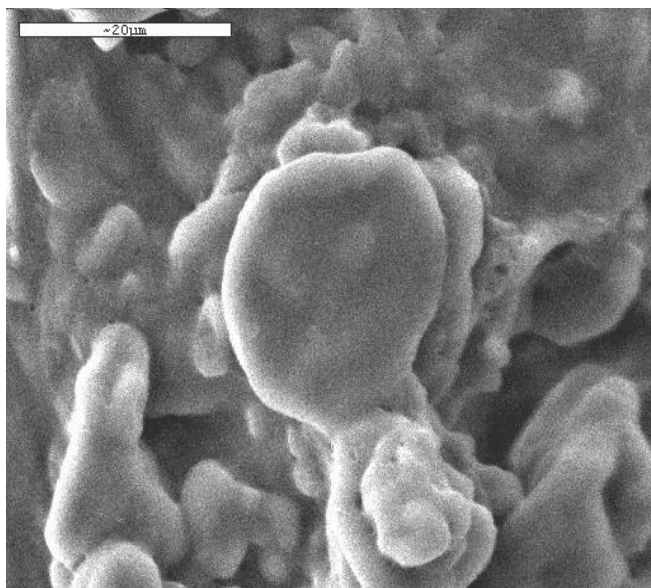
Рисунок 7.9 – Увеличение удельного объема ХБИ при добавлении льняных продуктов

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

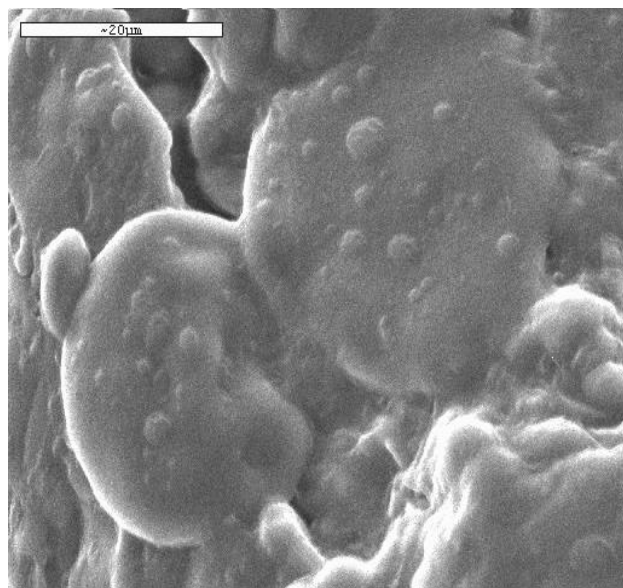
Сравнительное исследование микроструктуры мякиша хлеба с добавками измельченных семян льна и льняной муки (полуобезжиренной и обезжиренной) позволило установить различия в пористой структуре: количество, размер и толщина пор существенно различались. Образцы мякиша хлеба с льняными добавками имели мелкопористую структуру.

Различия в микроструктуре мякиша хлеба с добавками семян льна и льняной муки демонстрируют фотографии, снятые при увеличении в 2000 раз (рисунок 7.10).

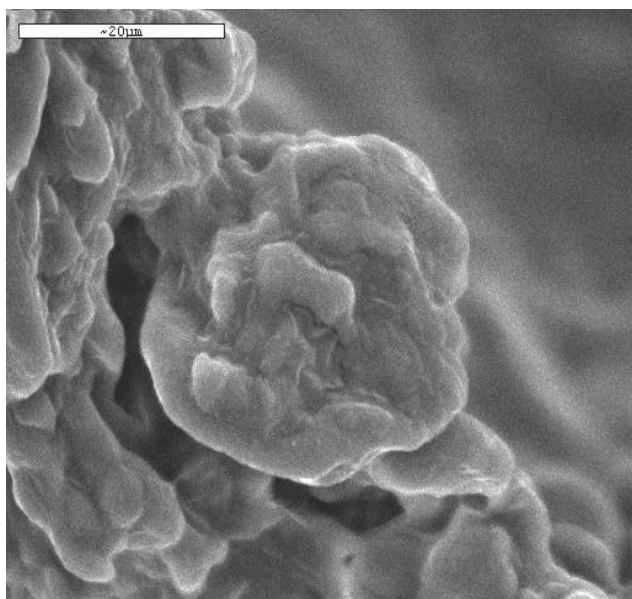
Влияние компонентного состава, а именно содержания липидов, белков и полисахаридов, проявляется в микроструктуре образцов мякиша с добавками измельченных семян льна и льняной муки. Для образца мякиша хлеба с измельченными семенами льна преобладающие частицы масла образуют довольно равномерное пузырьковое покрытие зерен крахмала и белка, что может оказывать значительное влияние на реологические свойства теста, в частности увеличивая их эластичность (рисунок 7.10 (2)).



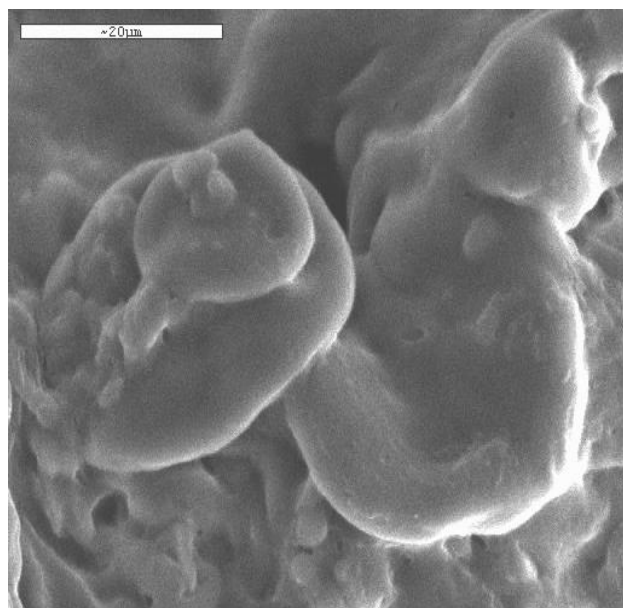
1) Контроль



2) С измельченными семенами льна



3) С полуобезжиренной льняной мукой



4) С обезжиренной льняной мукой

Рисунок 7.10 – Микроструктура мякиша пшеничного хлеба с добавками измельченных семян льна и льняной муки (полуобезжиренной и обезжиренной) при увеличении 2000 раз

В случае полуобезжиренной льняной муки (рисунок 7.10 (3)) проявляется влияние полисахаридов слизи.

Вследствие высокой водорастворимости полисахаридов слизи, их способности образовывать гели и комплексы с белками зерна крахмала покрыты слоем белково-углеводной массы. Вполне вероятно, что углеводы слизи в конкурентной борьбе за молекулы воды препятствуют более полному набуханию крахмальных зерен, что и проявляется в повышении вязкости теста.

При повышении содержания белка в случае обезжиренной льняной муки (рисунок 7.3 (4)) микроструктура мякиша хлеба близка к контрольному образцу: зерна крахмала покрыты денатурированными белковыми глобулами и однородной белково-углеводной пленкой.

Таким образом, ингредиенты льняных компонентов активно участвуют в формировании пшеничного теста за счет образующихся белок-липидных, белок-полисахаридных комплексов, а также за счет образования комплексов между льняными и пшеничными белками.

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, представленные в таблице 7.9, 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%.

Таблица 7.9 – Степень удовлетворения суточной потребности взрослого человека в белке и НАК при потреблении ХБИ (100 г) с семенами льна и льняной мукой

| Наименование показателей | | Вал | Изол | Лей | Лиз | Мет + Цис | Тре | Трп | Фен+Тир | Σ НАК | | |
|---|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------|--|
| Суточная потребность г/70кг веса | | 1,8 | 1,4 | 2,7 | 2,1 | 1,1 | 1,1 | 0,3 | 1,8 | 12,2 | | |
| Образец ХБИ | Белок, г | Белок | | | | | | | | | Степень удовлетворения, % | |
| Контроль | 7,3 | 9,7 | 19,2 | 26,0 | 20,4 | 8,7 | 26,1 | 20,8 | 29,3 | 34,5 | 21,6 | |
| ХБИ с семенами льна | | | | | | | | | | | | |
| 3% | 7,50 | 10,0 | 20,21 | 26,93 | 21,25 | 9,14 | 27,05 | 22,09 | 32,14 | 36,57 | 22,68 | |
| 6% | 7,73 | 10,3 | 21,26 | 27,86 | 22,09 | 9,62 | 27,90 | 23,33 | 35,00 | 38,69 | 23,77 | |
| 9% | 7,92 | 10,6 | 22,25 | 28,64 | 22,82 | 10,05 | 28,76 | 24,76 | 37,86 | 40,69 | 24,79 | |
| ХБИ с льняной полуобезжиренной мукой | | | | | | | | | | | | |
| 3% | 7,62 | 10,2 | 17,09 | 27,36 | 21,61 | 9,29 | 27,43 | 22,48 | 32,5 | 37,14 | 22,53 | |
| 6% | 7,92 | 10,6 | 21,81 | 28,50 | 22,60 | 9,86 | 28,67 | 24,00 | 35,71 | 39,66 | 24,36 | |
| 9% | 8,33 | 11,1 | 23,41 | 30,14 | 23,99 | 10,57 | 30,19 | 26,00 | 39,64 | 42,74 | 26,06 | |
| ХБИ с льняной обезжиренной мукой | | | | | | | | | | | | |
| 3% | 8,05 | 10,7 | 18,08 | 28,86 | 22,82 | 9,81 | 29,05 | 32,71 | 34,29 | 39,26 | 23,80 | |
| 6% | 8,85 | 11,80 | 24,40 | 31,86 | 24,54 | 11,00 | 32,00 | 26,86 | 40 | 44,29 | 27,06 | |
| 9% | 9,66 | 12,88 | 27,14 | 34,93 | 27,80 | 12,24 | 35,05 | 30,19 | 46,07 | 49,60 | 30,22 | |

Таблица 7.10 – Содержание ПНЖК в хлебобулочных изделиях с семенами льна и льняной мукой

| Наименование показателя | Содержание льняной муки в смеси с пшеничной, % | | | | | | | | |
|---|--|------|------|------------------|------|------|--------------|------|------|
| | Семена льна измельчен. | | | Полуобезжиренная | | | Обезжиренная | | |
| | 3 | 6 | 9 | 3 | 6 | 9 | 3 | 6 | 9 |
| Содержание масла в 100 г изделия, г | 1,67 | 2,46 | 3,26 | 1,43 | 1,98 | 2,52 | 0,91 | 0,92 | 0,93 |
| Содержание ПНЖК в 100 г изделия, г | 0,69 | 1,26 | 1,89 | 0,52 | 0,93 | 1,15 | 0,16 | 0,19 | 0,21 |
| Степень удовлетв. суточной потребн. в ПНЖК, % | 6,3 | 11,4 | 17,1 | 4,7 | 8,4 | 10,4 | 1,4 | 1,7 | 1,9 |
| Содержание ПНЖК ω -3 в 100 г изделия, г | 0,37 | 0,67 | 1,0 | 0,28 | 0,49 | 0,61 | 0,08 | 0,1 | 0,11 |
| Степень удовлетв. суточной потребн. в ПНЖК ω -3, % | 9,3 | 16,8 | 25,0 | 7,0 | 12,3 | 15,3 | 2,0 | 2,5 | 2,7 |

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 изделий типа маффинов с использованием полисахаридов семян льна и льняной муки

Современные тенденции совершенствования ассортимента продуктов питания ориентированы на создание сбалансированной по пищевой ценности продукции, способной обеспечить потребности в незаменимых нутриентах. Среди широкого разнообразия пищевых продуктов мучные кондитерские изделия (МКИ) входят в ежедневный рацион практически всех групп населения наряду с хлебом. Поэтому они должны быть источником необходимых для человека нутриентов. Однако характерные для МКИ недостатки, такие как высокое содержание жиров и углеводов, низкое содержание пищевых волокон, минеральных веществ и витаминов, снижают качество этих продуктов по пищевой ценности и повышают калорийность рациона. В связи с этим повышение качества, пищевой ценности, расширение ассортимента МКИ функциональной направленности приобретает важное значение.

Для изучения перспектив использования продуктов переработки семян льна в технологии МКИ в качестве модельного изделия использовали маффины. Они отличаются простотой изготовления и относительно небольшим набором ингредиентов, что позволяет более объективно судить о влиянии новых компонентов на качество изделий.

Кексы и маффины очень популярны среди всех групп населения. Эти два вида мучных кондитерских изделий внешне похожи, однако значительно отличаются по рецептурным составам и технологиям [35]. Основной особенностью маффинов является отсутствие в рецептуре маргарина. В качестве жировой составляющей используются растительные масла, которые в отличие от маргаринов не содержат в своем составе трансизомеров жирных кислот. В таблице 7.11 представлены часто используемые соотношения основных ингредиентов в рецептурах маффинов и кексов. Как видно, основной особенностью рецептурного состава маффинов является значительное

количество жидкости, а также пониженное содержание жировой составляющей, что свидетельствует о более низкой калорийности по сравнению с кексами.

Таблица 7.11 – Соотношения основных ингредиентов в рецептурах маффинов и кексов

| Основные ингредиенты, | Маффины | Кексы |
|-----------------------|---------|-------|
| Мука, г | 100 | 100 |
| Сахар, г | 38 | 100 |
| Масло, г | 24 | 85 |
| Яйца, г | 24 | 37 |
| Вода, молоко, г | 90 | - |

Маффины являются перспективной основой для разработки функциональных мучных кондитерских изделий с уменьшенным содержанием насыщенных жиров, сахара и трансизомеров жирных кислот.

Известны две технологии производства маффинов: английская и американская. По американской технологии предусмотрено использование химических разрыхлителей, а по английской – используются дрожжи. Наиболее популярными являются маффины, которые производятся по американской технологии.

7.2.1 Разработка МКИ с полисахаридами семян льна и льняной мукой

В качестве продуктов переработки семян льна использовали полисахариды семян льна, а именно сухой полисахаридный экстракт, льняную полуобезжиренную 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. На рисунке 7.11 представлены данные по изменению удельного объема маффинов в зависимости от количества полисахаридной добавки.

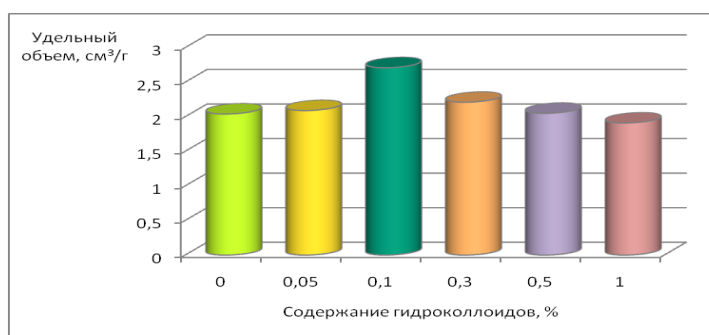


Рисунок 7.11 – Влияние полисахаридов семян льна на удельный объем маффинов.

Значимый наибольший удельный объем показали маффины с содержанием полисахаридов 0,1% (от содержания муки). Увеличение этого показателя составило 32,8% по сравнению с контролем. При этом образец с наименьшим удельным объемом содержал наибольшее количество полисахаридного экстракта – 1,0%. При таком содержании полисахариды семян льна удерживают часть жидкости, необходимой для развития клейковинного каркаса, в результате происходило снижение удельного объема на 6,4%.

Высокая водоудерживающая способность полисахаридов семян льна проявляется в повышении влажности маффинов с этими добавками. Наибольшей влажностью характеризовались маффины с максимальным количеством полисахаридов семян льна (1,0%). Влияние полисахаридов семян льна на влажность маффинов представлено на рисунке 7.12.

Влажность изделия зависела от количества полисахаридной добавки. С увеличением этой добавки в используемом интервале (0,05 – 1,0%) влажность повышалась на 2,4 – 7,6%.

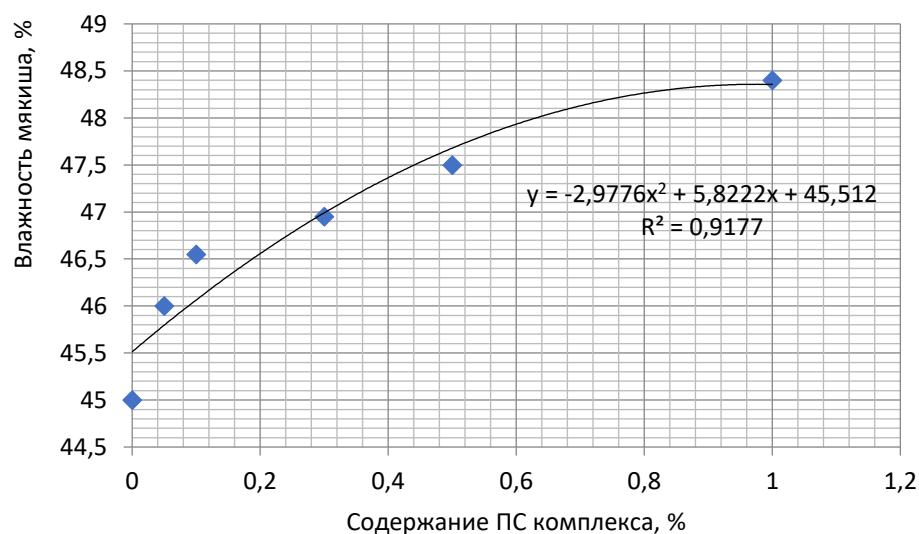


Рисунок 7.12 – Влияние полисахаридов семян льна на влажность маффинов
Динамика изменения влажности маффинов с различным содержанием полисахаридов при хранении представлена на рисунке 7.13.

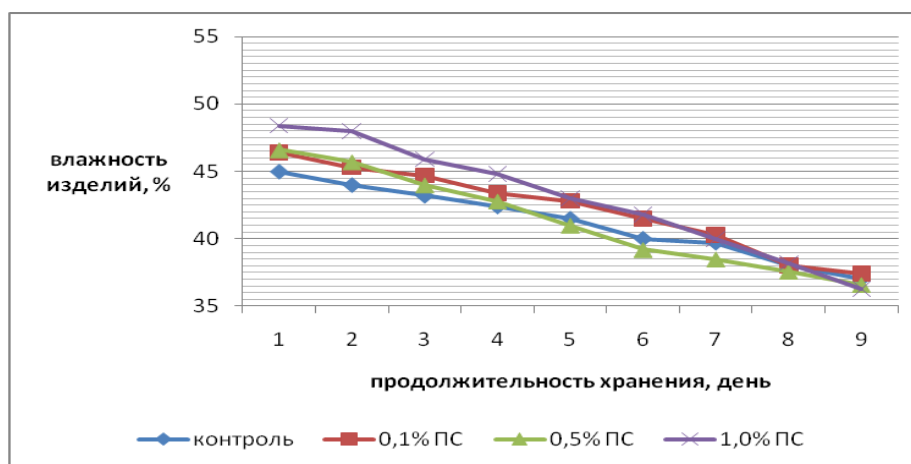


Рисунок 7.13 – Изменение влажности маффинов в процессе хранения

Маффины хранили в полиэтиленовых пакетах при комнатной температуре (20-22°C). При обработке экспериментальных данных с использованием программ Excel 2007 были получены адекватные линейные зависимости изменения влажности маффинов с различным содержанием полисахаридов при хранении. О высокой адекватности свидетельствуют коэффициенты детерминированности R^2 (таблица 7.12).

Таблица 7.12 – Зависимости изменения влажности маффинов при хранении

| Содержание ПС, % | Уравнение зависимости | Коэффициент детерминированности |
|------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 0 | $y = - 0,99x + 46,150$ | $R^2 = 0,9903$ |
| 0,1 | $y = - 1,14x + 47,917$ | $R^2 = 0,9794$ |
| 0,5 | $y = - 1,315x + 47,908$ | $R^2 = 0,9872$ |
| 1,0 | $y = - 1,5433x + 50,65$ | $R^2 = 0,9915$ |

Следует отметить, что с повышением содержания полисахаридов в изделиях потеря влажности происходит интенсивнее, о чем свидетельствуют коэффициенты в уравнении при переменной x . Для образцов с содержанием полисахаридов 1,0% и 0,5% наблюдалось более резкое снижение влажности после 2 суток хранения (рисунок 7.13).

При введении полисахаридов в рецептуру маффинов увеличивался размер пор мякиша изделия, что показано на рисунке 7.14. Особенно это явно проявлялось при 1%-ном содержании полисахаридов.



Рисунок 7.14 - Маффины с сухим экстрактом полисахаридов льна 1 – контроль; 2 – 1,0 % сухого экстракта

Такое количество добавки влияло и на характер мякиша, он становился немного липким. При их содержании выше 0,5% поверхность изделия приобретала светло-коричневый цвет.

Результаты органолептических исследований образцов маффинов представлены в таблице 7.13.

Таблица 7.13 – Органолептические показатели маффинов с полисахаридами (ПС) семян льна

| Содержание ПС, % | Поверхность изделия | Пористость мякиша | Характер мякиша | Цвет мякиша | Вкус | Аромат |
|------------------|--|---|--------------------------------|---------------|-----------------------|----------|
| 0 | С трещинами, свойственными состоянию поверхности маффина | Развитая, со средними порами | Мягкий, упругий, не заминается | Светло-желтый | Свойственный маффинам | Приятный |
| 0,05 | «----» | «----» | «----» | «----» | «----» | «----» |
| 0,1 | «----» | Развитая, со средними и крупными порами | «----» | «----» | «----» | «----» |
| 0,3 | «----» | «----» | «----» | «----» | «----» | «----» |
| 0,5 | Темнее обычной | «----» | «----» | «----» | «----» | «----» |
| 1,0 | С более мелкими трещинами | «----» | Немного липкий | «----» | «----» | «----» |

Также было установлено, что при содержании полисахаридов 1,0% упек изделий составил 16%, а при 0,5% добавки – 22%. Снижение упека при большем количестве полисахаридов можно объяснить их большой водоудерживающей способностью.

Полисахариды не изменяли такие показатели, как вкус, аромат изделий, а также цвет мякиша. Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- использование полисахаридов семян льна способствовало повышению влажности мякиша;
- при содержании полисахаридов 0,1% наблюдалось максимальное увеличение удельного объема маффинов на 32,8%;
- введение полисахаридов семян льна в рецептурный состав маффинов до 1,0% относительно используемого количества муки не изменяло вкус, аромат изделий.

На основании проведенных исследований была разработана технологическая схема приготовления маффинов с использованием полисахаридов семян льна, представленная на рисунке 7.15.

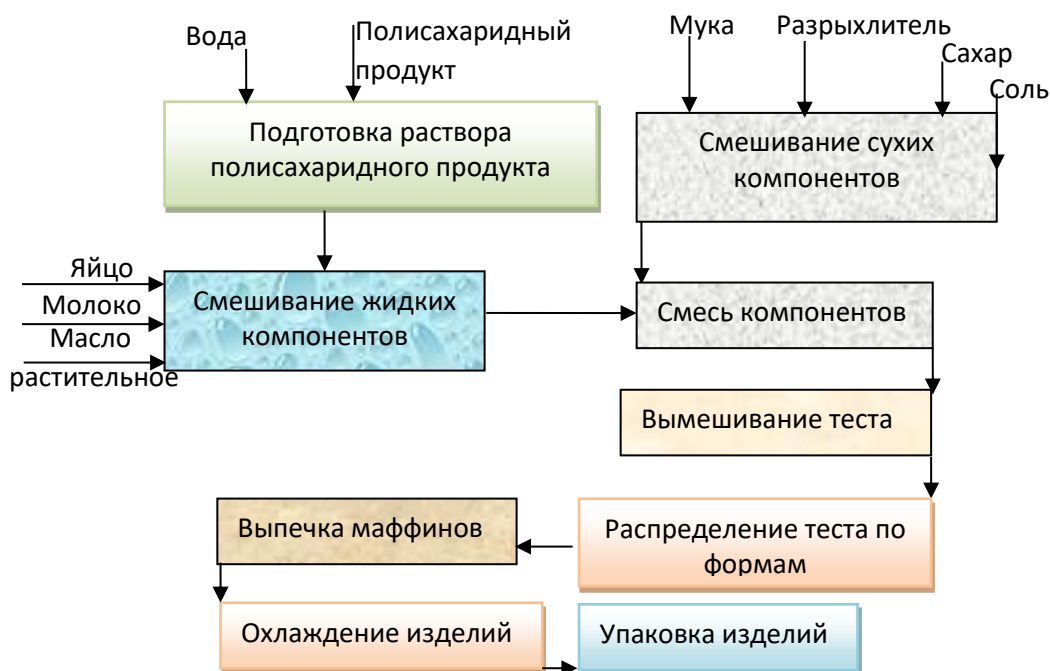


Рисунок 7.15 – Технологическая схема приготовления маффинов с добавлением полисахаридов семян льна

В качестве полисахаридного продукта использовались: сухой полисахаридный экстракт или полисахаридный комплекс, получение которых описано в главе 6.

Вследствие высокой водоудерживающей способности полисахариды семян льна следует вводить в рецептурный состав в гидратированном состоянии. Их оптимальное содержание относительно используемой муки составляет 0,1%.

Таким образом, показано, что полисахариды семян льна при определенном содержании положительно влияют на качество маффинов и исследования по их использованию в хлебопечении представляют научный и практический интерес.

Влияние семян льна и льняной муки на качество маффинов

Для обогащения функциональными ингредиентами в состав МКИ, в частности кексов вводят пищевые волокна, клетчатку, нетрадиционные виды муки [61, 64, 431]. Семена льна и продукты их переработки по своему уникальному составу функциональных ингредиентов и биологически активных веществ являются универсальным обогатителем пищевых продуктов [64, 284, 289, 441]. Известны работы по использованию льняной муки с различным содержанием белка при разработке технологии хлебобулочных изделий [96,

276], мучных кондитерских изделий, в частности из бисквитного теста [170, 171, 300]. Во всех исследовательских работах показана положительная роль определенного содержания льняного компонента на показатели качества и сенсорные свойства получаемых изделий. Однако своеобразие компонентного состава семян льна: наличие слизей с высокой водоудерживающей способностью и высокой вязкостью, высокого содержания белка, не содержащего проламиновую фракцию, и полиненасыщенных жирных кислот требует корректировки технологии (технологических операций) получения изделий.

Рецептура с оптимальным содержанием ПС комплекса была выбрана за основу для создания МКИ типа маффинов повышенной пищевой ценности.

Льняные продукты как сырье для пищевой промышленности имеют свои особенности, которые необходимо учитывать при их введении в технологические процессы:

- семена льна и льняная мука характеризуются высокой водоудерживающей способностью, что объясняется наличием в их составе водорастворимых слизей;
- наличие грубой клетчатки в результате присутствия семенной оболочки;
- отсутствие клейковинных белков – проламинов, образующих белковый каркас теста;
- отсутствие (или следы) крахмала;
- высокое содержание масла в семенах льна способствует слипанию частиц и комкованию, что затрудняет вымешивание теста.

В связи с повышенной водопоглотительной способностью льняной муки необходимо регулировать расчетное количество воды и способ ее введения в рецептурный состав. Так, льняную муку предварительно смешивали с 6-кратным избытком воды до однородной массы и выдерживали в течение 10-15 минут. В таблице 7.14 обоснован способ введения льняной муки в рецептурный состав. Для контроля качества изделия использовали показатель - удельный объем изделия.

Таблица 7.14 - Влияние способа введения льняной муки на удельный объем маффинов

| Показатель качества | Способ введения льняной муки в рецептурный состав | | | | |
|------------------------------------|---|-----------|---|-----------|----------|
| | Смешивание с пшеничной мукой | | Предварительная гидратация льняной муки | | |
| | Соотношение льняная мука : вода | | | | |
| | 1:5 | 1:6 | 1:5 | 1:6 | 1:7 |
| Удельный объем, см ³ /г | 1,68±0,08 | 1,82±0,09 | 1,97±0,1 | 2,13±0,11 | 1,93±0,1 |

При использовании подсушенных измельченных семян льна их предварительно суспензировали с рецептурным количеством растительного масла. В таблице 7.15 обоснован способ введения подсушенных, измельченных семян льна в рецептурный состав.

Таблица 7.15 – Влияние способа введения семян льна на удельный объем маффинов

| Показатель качества | Способ введения измельченных семян льна в рецептурный состав | |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|
| | Смешивание с пшеничной мукой | Суспензирование в растительном масле |
| Удельный объем, см ³ /г | 1,91±0,10 | 2,57±0,13 |

Готовые изделия имели приятный аромат, ореховый вкус, золотисто-коричневый цвет, в разрезе характеризовались равномерной пористостью.

При проектировании оптимальной рецептуры основное значение имеет определение соотношения компонентов. Экспериментально было установлено оптимальное количество льняного продукта, вносимого при замене части пшеничной муки в рецептуру изделия, а именно 5-10%.

Именно при таких вариантах содержания льняного продукта наблюдалось повышение удельного объема, как показано на рисунке 7.16, и невысокая плотность мякиша как показано в таблице 7.16.

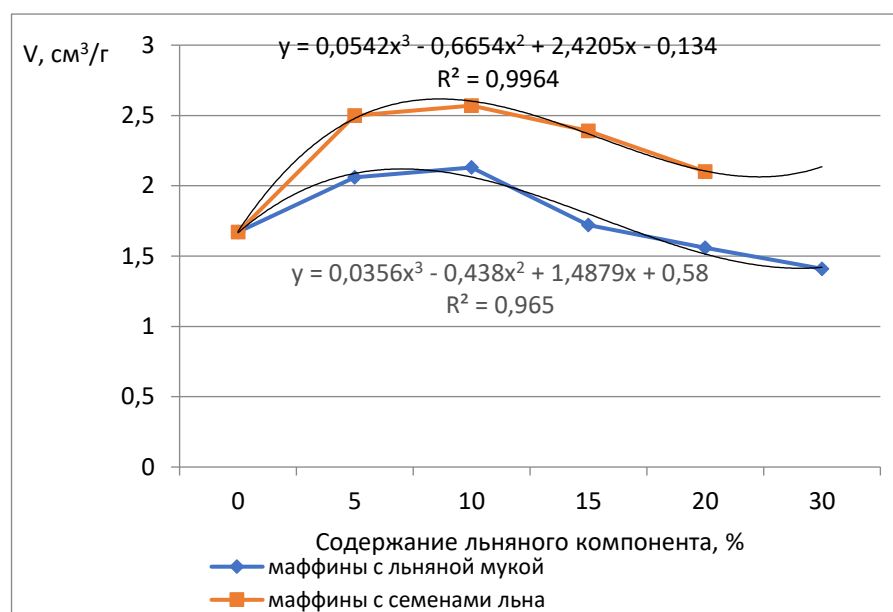


Рисунок 7.16 – Влияние содержания льняного компонента на удельный объем маффинов

Результаты исследования физико-химических свойств МКИ «Льняной маффин» в зависимости от дозировки льняного продукта представлены в таблице 7.16.

Таблица 7.16 – Влияние дозировки льняных продуктов на физико-химические показатели МКИ «Льняной маффин»

| Показатели | Дозировка льняного продукта, % от массы пшеничной муки | | | | | | | |
|------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | Контроль | Семена льна | | | Льняная мука | | | |
| | | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Массовая доля влаги, % | 41,7±0,2 | 41,9±0,2 | 41,6±0,2 | 42,3±0,2 | 42,1±0,2 | 42,7±0,2 | 42,4±0,2 | 43,9±0,2 |
| Массовая доля жира, % | 9,5±0,5 | 11,3±0,1 | 11,8±0,1 | 12,2±0,1 | 9,8±0,5 | 10,1±0,1 | 10,3±0,1 | 10,5±0,1 |
| Плотность, г/см ³ | 0,427±0,009 | 0,392±0,008 | 0,383±0,007 | 0,409±0,008 | 0,427±0,009 | 0,401±0,008 | 0,477±0,009 | 0,543±0,011 |
| Упек, % | 20,05±0,30 | 19,84±0,29 | 19,59±0,29 | 19,06±0,28 | 19,90±0,30 | 19,76±0,29 | 19,17±0,28 | 18,50±0,28 |
| Щелочность, град. | 1,80±0,02 | 1,75±0,02 | 1,75±0,02 | 1,70±0,02 | 1,80±0,02 | 1,80±0,02 | 1,75±0,02 | 1,75±0,02 |

При использовании льняных продуктов наблюдалось снижение упека изделий на 1-7%, как в случае льняной муки, так и измельченных семян льна.

Это объясняется наличием в льняных продуктах водорастворимых полисахаридов слизи, обладающих высокой водоудерживающей способностью.

Установлено, что дозировка льняных продуктов менее 5% не оказывала влияния на показатели качества готовых изделий. Дозировка более 15% для семян льна и более 20% для льняной муки отрицательно влияла на качество изделий «Льняной маффин».

Для комплексной оценки качества лабораторных образцов определяли органолептические показатели, такие как: форма, поверхность, вид в изломе, структура, вкус, запах [70].

Результаты балльной оценки органолептических показателей МКИ «Льняной маффин» представлены в таблице 7.17.

Таблица 7.17 – Органолептическая оценка МКИ «Льняной маффин» профильным методом сенсорного анализа в баллах

| Наименование показателя | Содержание льняного продукта, % от массы пшеничной муки | | | | | | | |
|---------------------------|---|-------------|------|------|--------------|------|------|------|
| | Конт-роль | Семена льна | | | Льняная мука | | | |
| | | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Форма | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 5,8 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 |
| Поверхность | 9,0 | 8,8 | 8,7 | 8,5 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 8,9 |
| Вид в изломе | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 12,2 | 12,0 | 12,0 | 11,6 |
| Структура | 12,0 | 12,0 | 12,3 | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 11,0 | 11,6 |
| Вкус | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 5,3 | 5,0 |
| Запах | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| Комплексный показатель, Q | 49,0 | 48,8 | 49,0 | 48,3 | 49,2 | 49,0 | 47,3 | 47,1 |

Готовые изделия имели выпуклую верхнюю поверхность с характерными трещинами и явно выраженные боковые поверхности. Вид в изломе представлял пропеченное изделие без комочков, следов непромеса и равномерной пористостью в соответствии с фото на рисунке 7.17. «Льняной маффин» имеет приятный вкус и аромат, характерные предусмотренным по рецептуре пищевым ингредиентам.



Рисунок 7.17 – Маффины с семенами льна и льняной мукой

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 7.18). Сбалансированность состава маффинов с полисахаридами семян льна, семенами льна и льняной мукой по содержанию ПНЖК- ω 3 позволяет отнести их к продуктам здорового питания и расширить ассортимент таких продуктов.

Таблица 7.18 – 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 | 9,8 | 5,95 | 9,9 |
| Жиры, в т.ч. ПНЖК ω -3 | 90 4 | 10,92 0,16 | 12,13 10,7 | 13,5 1,17 | 15,0 29,25 |
| Углеводы | 375 | 38,35 | 10,2 | 37,47 | 10,0 |
| Энергетическая ценность, ккал | 2300 | 275 | 11,9 | 295 | 12,8 |
| *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, в результате проведенных исследований установлено, что льняная мука и семена льна могут быть использованы в качестве сырьевого компонента в составе рецептуры маффинов. При замене 5-10% пшеничной муки льняным компонентом достигается повышение удельного объема, сохраняется структура традиционного маффина и его органолептические свойства.

Введение льняного компонента в технологический процесс производства маффинов имеет свои особенности: использование гидратированной льняной муки при замесе теста и использование суспензированных в растительном масле измельченных семян льна.

Полученные маффины содержат полноценный белок, пищевые волокна, витамины, минеральные вещества, полиненасыщенные жирные кислоты, не содержат яиц, обладают невысокой калорийностью.

Производство нового продукта - маффинов с полисахаридами семян льна, льняной мукой и семенами льна целесообразно с точки зрения здорового питания.

7.2.2 Разработка безглютеновых маффинов с льняной мукой

В настоящее время разработка специализированных и функциональных продуктов является важным направлением оздоровления населения России. Среди широкого ряда специализированных продуктов наиболее известны продукты питания, не содержащие глютена (фракции белка злаковых культур). Безглютеновые изделия с медицинской точки зрения предназначены в качестве диеты для людей, страдающих аутоиммунным, мультифакториальным заболеванием, которое называется целиакией. Для больных целиакией является токсичной белковая фракция проламинов ряда злаковых культур: глиадины пшеницы, секалины ржи, гордеины ячменя. Глютен содержат такие культуры, как тритикале, полба, булгур. Овес также содержит фракцию проламинов, однако в небольшом количестве (менее 10% от общего количества белка)

поэтому его относят к безглютеновому сырью. Основной белковой фракцией в овсах являются солерастворимые белки, глобулины.

Безглютеновая продукция в последние годы очень популярна и среди обычных людей, как атрибут здорового питания. В западных странах их потребление интенсивно растет и стимулирует производство этого вида продукции. Таким образом, рынок безглютеновой продукции не ограничен строгими рамками и противопоказаниями и имеет большой потенциал [10].

В России, несмотря на динамичное развитие рынка безглютеновой продукции зависимость от импортного сырья и изделий высока. Сдерживают развитие отечественного производства не только сложность создания такой специфической продукции, но и отсутствие нормативно - правовой базы по соблюдению норм содержания глютена в продукции и по ее маркировке [182].

Поэтому расширение ассортимента безглютеновых продуктов отечественного производства является актуальным.

В соответствии со стандартом комиссии Кодекс Алиментариус (ФАО/ВОЗ) безглютеновые продукты должны содержать глютена менее 20 мг/кг продукта, низкоглютеновые – менее 100 мг/1000г продукта.

Основным направлением инженерии безглютеновых продуктов, а это большей частью мучные изделия, является использование природного безглютенового сырья растительного происхождения (безглютеновые или низкоглютеновые зерновые, псевдозерновые, бобовые, масличные, орехи корнеплоды и т.д.). В настоящее время с целью расширения ассортимента безглютеновых ХБИ и МКИ и увеличения импортозамещения учеными и специалистами хлебопекарных производств проводятся исследования по разработке рецептур и технологий таких изделий [77, 153, 206].

Сравнительная характеристика некоторых видов муки для безглютеновых продуктов

Ассортимент безглютенового сырья достаточно широк. На рисунке 7.18 представлено процентное соотношение различных видов сырья, используемого для производства безглютеновых мучных изделий.

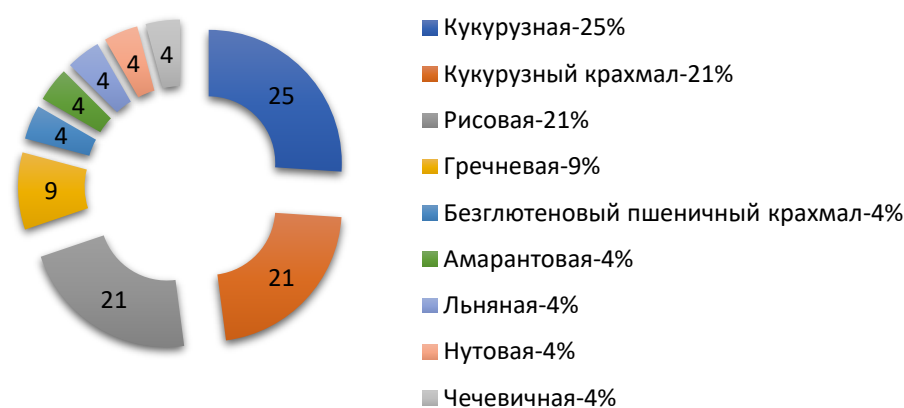


Рисунок 7.18 - Использование различных видов муки и крахмалов для производства безглютеновых мучных изделий (диаграмма составлена автором по данным источника [9]).

Следует отметить, что при достаточном разнообразии безглютенового сырья, 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.

Классические безглютеновые мучные изделия характеризуются рядом недостатков:

- невысокая пищевая ценность, обусловленная высоким содержанием крахмального сырья;
- быстрое черствение вследствие высокого содержания крахмала;
- низкое содержание пищевых волокон, витаминов, минеральных нутриентов;
- недостаточно выраженные органолептические свойства (вкус, запах).

Разработка широкого ассортимента безглютеновых мучных изделий повышенной пищевой ценности с высокими органолептическими свойствами, соответствующие требованиям потребителей является основной задачей этого направления пищевого производства.

С целью разработки безглютеновых мучных изделий проводили сравнительный анализ биологической ценности некоторых видов муки различных культур.

В качестве биологически ценного сырья для повышения пищевой ценности безглютеновых изделий большим потенциалом обладают различные виды муки масличных культур, в частности льняная.

Выше нами показана возможность повышения пищевой ценности мучных кондитерских изделий (на примере маффинов) при замещении части пшеничной муки льняной. Было показано, что технологические свойства льняной муки повышают необходимое количество воды в рецептуре, позволяют исключить яичные продукты без снижения качества и органолептических свойств.

В таблице 7.19 представлена характеристика муки разных культур, с минимальным содержанием глютена (кукуруза, рис) или белковый комплекс которых не содержит проламиновой фракции (семена льна). Были использованы данные ряда источников [32, 196, 200].

Таблица 7.19 - Характеристика муки из злаковых и масличных культур

| Свойства | Вид муки | | |
|------------------------------------|---|--|---|
| | Кукурузная | Рисовая | Льняная |
| Сырье и переработка | Цельнозерновое кукурузное зерно | Переработка шлифованного зерна | Переработка семян после отжима масла |
| Пищевая ценность, г/100 г продукта | | | |
| Белки | 8,0 | 6,0 | 25,0 |
| Жиры | 1,0 | 1,4 | 5,0 |
| Углеводы (<i>общие</i>) в т.ч. | 75,0 | 80,0 | 40,0 |
| пищевые волокна | 4,4 | 2,4 | 10,0 |
| Энергетическая ценность, ккал/100г | 340 | 356 | 305 |
| Витамины, макро- и микронутриенты | А, Е, В ₁ , Fe, P, К, Mg, Ca | В ₁ , В ₂ , PP, Na, К, Mg, P, Ca, Zn | А, В ₁ , В ₂ , В ₆ , Е, С, F, К, Mg, P, Ca, Se, Zn |
| Вид полисахаридов | крахмальные | крахмальные | некрахмальные |

Из сравнительного анализа представленных данных следует, что высокая пищевая ценность льняной муки, обусловленная высоким содержанием пищевых волокон, витаминов, макро- и микронутриентов белков, не содержащих проламинов, является основой для использования при создании безглютеновых мучных изделий.

Наличие некрахмальных полисахаридов обеспечивает разнообразные физиологические свойства, характерные для непереваряемых углеводных фракций.

Важное значение для повышения сбалансированности безглютеновых изделий имеет содержание незаменимых аминокислот. На рисунке 7.19 представлен аминокислотный скор льняной, кукурузной и рисовой муки, рассчитанный по данным источников [182, 200].

Сравнительный анализ показал, что белковый комплекс льняной муки является более сбалансированным по сравнению с кукурузной и рисовой.

Кукурузная и рисовая мука обеднены не только лизином, но треонином и особенно триптофаном. Что касается конопляной муки, то лимитирующими аминокислотами белков этой культуры являются лизин и изолейцин [340].

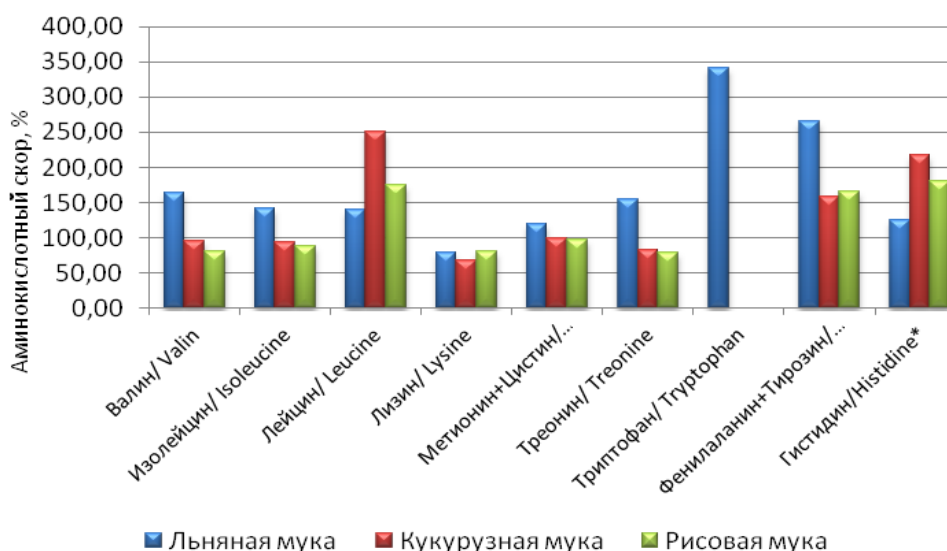


Рисунок 7.19 – Аминокислотный скор белков различных видов муки

На основании данных указанных выше источников было определено общее содержание незаменимых аминокислот в белковом комплексе льняной, кукурузной и рисовой муки. Данные представлены на рисунке 7.20.

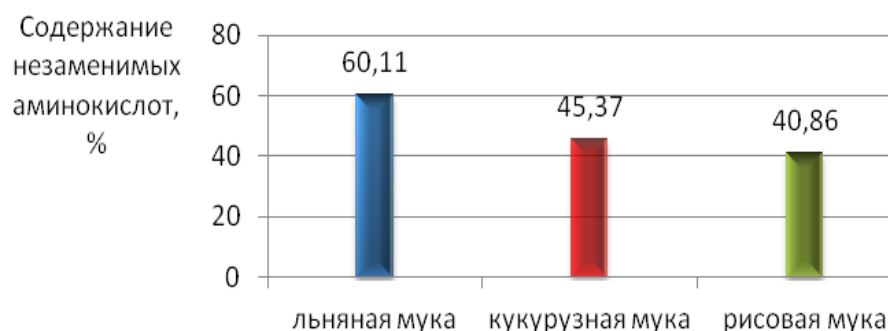


Рисунок 7.20 – Общее содержание незаменимых аминокислот в белковом комплексе различных видов муки

В льняной муке общее содержание незаменимых аминокислот значительно превышает аналогичные показатели кукурузной и рисовой муки.

Содержание и аминокислотный состав белка являются важными показателями, характеризующими пищевую и биологическую ценность сырья.

Исходя из этих характеристик рассмотренного сырья, а также учитывая известную высокую биологическую ценность льняного масла, является целесообразным использовать льняную муку для повышения пищевой ценности безглютеновых мучных изделий.

Сочетание муки злаковых и масличных культур позволит сбалансировать комплементарный состав белка безглютеновых изделий. Наличие некрахмальных полисахаридов (типа гидроколлоидов) в льняной муке может способствовать улучшению текстурных характеристик мучных изделий.

Влияние полисахаридов семян льна на качество безглютеновых маффинов

В настоящее время рецептуры безглютеновых МКИ основаны преимущественно на крахмалсодержащих продуктах, что обуславливает низкое содержание пищевых волокон и низкие органолептические свойства. Сочетание крахмалсодержащих продуктов с некрахмальными полисахаридами,

относящимися к пищевым добавкам типа гидроколлоидов, улучшает текстуру продукта, его реологические свойства [167, 396]. Несмотря на то, что гидроколлоиды вносятся в незначительных количествах, не более 1%, они оказывают заметное влияние не только на текстурные, но и на органолептические свойства продуктов.

Полисахариды семян льна по своим функционально-технологическим свойствам относятся к пищевым добавкам типа гидроколлоидов. Выше было показано, что полисахариды семян льна при определенном содержании положительно влияют на качество традиционных маффинов. Представляло интерес оценить их влияние на качество безглютеновых маффинов.

С этой целью был разработан план двухфакторного эксперимента по определению влияния полисахаридов семян льна и их соотношения с крахмалом на физико-химические показатели качества и комплексный органолептический показатель качества маффинов (таблица 7.20).

Таблица 7.20 – План двухфакторного эксперимента

| Наименование сырья | Варианты соотношения переменных факторов | | | | | | | | |
|----------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Мука кукурузная, % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Крахмал кукурузный, % | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 20 | 20 | 20 |
| Полисахариды семян льна, % | 0,1 | 0,5 | 1,0 | 0,1 | 0,5 | 1,0 | 0,1 | 0,5 | 1,0 |

В качестве показателей качества безглютеновых маффинов определяли их удельный объем, влажность, комплексный органолептический показатель (рисунки 7.21–7.22, таблица 7.21).

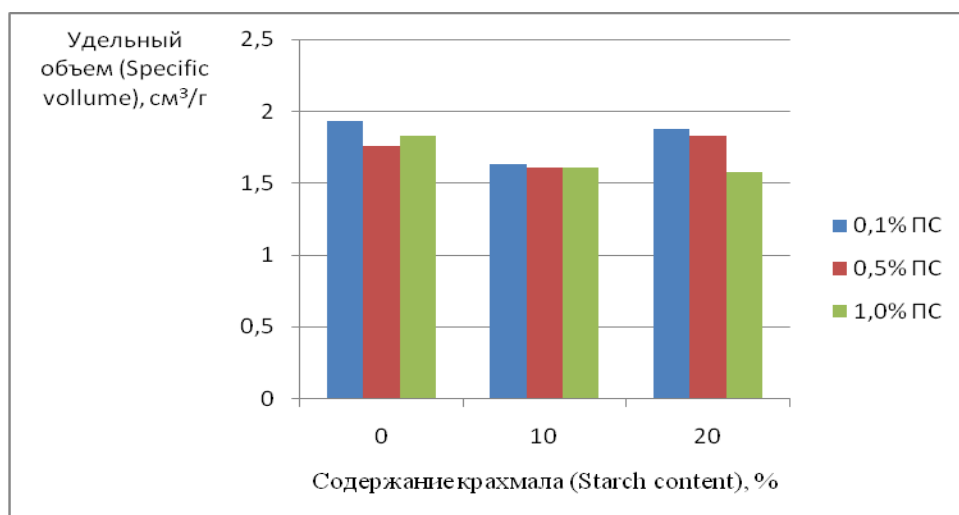


Рисунок 7.21 – Влияние полисахаридов семян льна на удельный объем безглютеновых маффинов

Как следует из полученных результатов (рисунок 7.21) удельный объем безглютеновых маффинов имел максимальное значение при их содержании 0,1%, аналогично для традиционных маффинов (рисунок 7.11). Анализ диаграммы на рисунке 7.21 показал, что сочетание полисахаридов с крахмалом не приводит к синергетическому воздействию на величину удельного объема изделий. Следует отметить, что полисахариды семян льна могут выступать в качестве структурообразующего агента и в отсутствии крахмала.

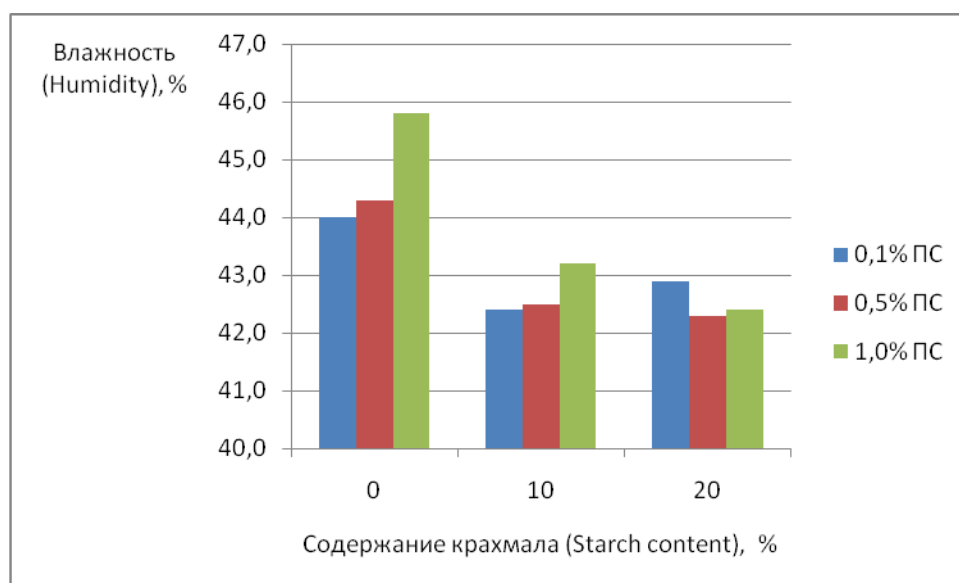


Рисунок 7.22- Влияние полисахаридов семян льна на влажность безглютеновых маффинов

Изменение влажности безглютеновых маффинов представлено на рисунке 7.22. В отсутствие крахмала наибольшая влажность наблюдалась в присутствии максимального количества полисахаридов семян льна – 1,0%, что обусловлено их высокой водоудерживающей способностью. В присутствии крахмала резко снижалась влажность изделий. Вполне вероятно, в данном случае проявляется конкурентное взаимодействие полисахаридных структур семян льна и крахмальных структур (амилозы и амилопектина) с белками кукурузной муки. Полисахариды, возможно, сдерживают взаимодействие между крахмалом и белками кукурузной муки, что способствует быстрой ретроградации крахмала. Подобное взаимодействие было отмечено в случае ксантановой камеди и крахмала [341].

Также в работе определяли щелочность изделий и проводили комплексную оценку органолептических показателей образцов (таблица 7.22).

Таблица 7.22- Характеристика образцов безглютеновых маффинов

| Наименование показателя | Варианты соотношения переменных факторов | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Щелочность, град | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| Комплексный показатель, баллы | 47 | 44 | 44 | 46 | 44 | 44 | 44 | 44 | 43 |

Щелочность образцов практически не изменялась и соответствовала требованиям ГОСТ 15052-2014 для МКИ (кексов) на химических разрыхлителях.

Значения комплексной оценки органолептических показателей были близки. Все образцы имели приятный вкус и запах. Образцы отличались по состоянию мякиша: с увеличением содержания крахмала мякиш больше крошился. Цвет корки был ярче с увеличением содержания полисахаридов семян льна.

Таким образом, было установлено, что сочетание полисахаридов семян льна с крахмалом не приводит к синергетическому воздействию на показатели качества изделий, что иллюстрирует трехмерная графическая интерпретация экспериментальных данных на рисунке 7.23.

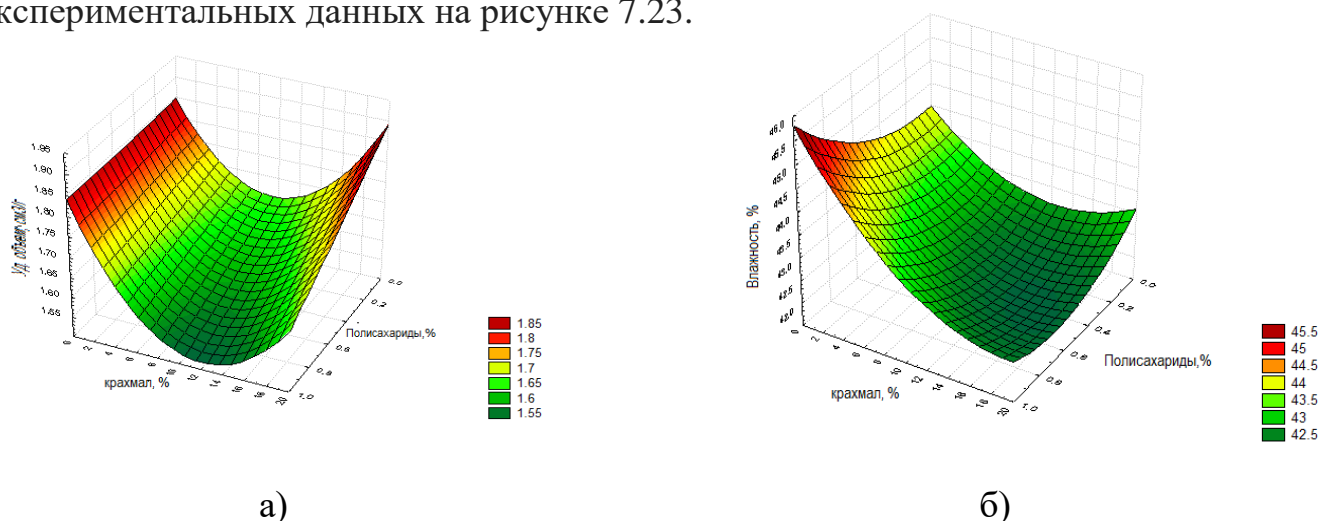


Рисунок 7.24 - Влияние соотношения полисахаридов семян льна и крахмала на удельный объем (а) и влажность (б) безглютеновых маффинов

Было показано, что оптимальное содержание полисахаридов семян льна в рецептуре безглютеновых маффинов составляет 0,1%, при этом достигается повышение удельного объема изделий и их высокие органолептические свойства. 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, что иллюстрирует рисунок 7.23 (б), и можно объяснить высокими значениями водоудерживающей способности этого ингредиента.

Таким образом, использование полисахаридов семян льна позволяет исключить из рецептуры безглютеновых маффинов кукурузный крахмал, без потери качества изделий. Полисахариды семян льна как монокомпонент являются перспективной технологической добавкой в качестве структурообразователя, которая может использоваться в технологии безглютеновых мучных продуктов аналогично крахмалам.

Влияние льняной муки на качество и пищевую ценность безглютеновых маффинов

Для повышения пищевой ценности и снижения калорийности безглютеновых маффинов использовали в качестве биологически активного сырья полуобезжиренную льняную муку отечественного производства. Полисахариды семян льна вводили в качестве технологической добавки (структурообразователя) в количестве 0,1%. При этом технологические свойства льняной муки позволяют исключить из рецептуры яичные продукты.

Для определения рационального количества льняной муки при замещении кукурузной варьировали добавки льняной муки в интервале 5 – 20%. Об эффективности введения льняной муки в рецептурную смесь судили по изменению удельного объема маффинов как показано на рисунке 7.25.

Как следует из полученных данных замена части кукурузной муки на льняную приводила к снижению удельного объема изделий, однако, при содержании льняной муки 10-15% эта технологическая характеристика уменьшалась незначительно – на 1,1-0,6%.

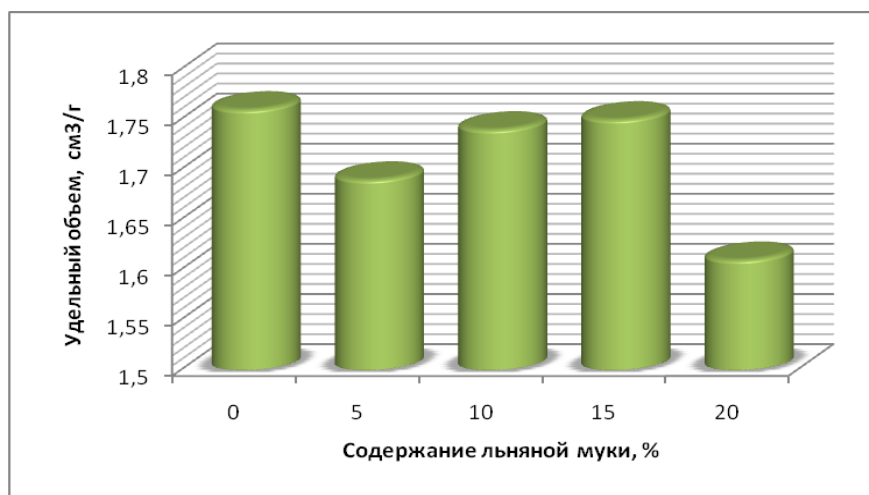


Рисунок 7.25 - Изменение удельного объема маффинов при замещении части кукурузной муки на льняную.

Одним из недостатков безглютеновых мучных изделий является их быстрая высыхаемость за счет большого содержания крахмального сырья.

Исключение из рецептуры кукурузного крахмала и замена части кукурузной муки на льняную замедляет снижение массы изделий как показано на рисунке 7.26. Это объясняется наличием в льняных продуктах водорастворимых полисахаридов слизи, обладающих высокой водоудерживающей способностью [16].

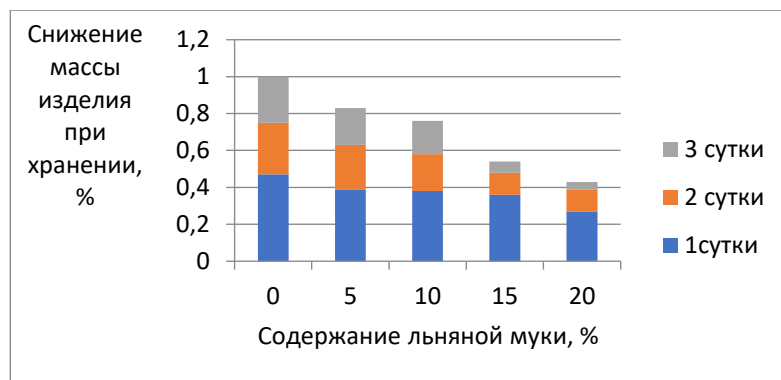


Рисунок 7.26 - Изменение массы безглютеновых маффинов при хранении

Оценка пищевой и энергетической ценности безглютеновых маффинов приведена в таблице 7.23.

Таблица 7.23– 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 | 90 | 10,47 | 11,63 | 8,2 | 9,1 |
| в т.ч. ω -3 | 4 | 0,1 | 2,5 | 0,12 | 3,0 |
| Углеводы | 375 | 41,87 | 11,16 | 37,3 | 10,3 |
| Энергетическая ценность, ккал | 2300 | 275 | 10,7 | 240 | 10,4 |

*усредненные показатели для взрослого населения с разной степенью физической активности

Безглютеновые маффины с льняной мукой характеризуются невысокой калорийностью и при этом повышенным содержанием ПНЖК ω -3. Исключение яичных продуктов при введении льняной муки не снижает биологическую

ценность изделий – содержание белка даже превышает аналогичный показатель для маффинов с кукурузной мукой.

Таким образом, замена части (15%) кукурузной муки на льняную при получении безглютеновых маффинов не ухудшает качества изделий, замедляет процесс высыхания при хранении, повышает биологическую ценность за счет увеличения степени удовлетворения суточной потребности в белке и ПНЖК ω -3, снижает калорийность изделий.

Результаты, полученные на примере маффинов, подтверждают целесообразность и эффективность использования льняной муки в рецептурах безглютеновых мучных изделий.

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 и в другие группы продуктов.

Наряду с нутрициологическим потенциалом льняная мука проявляет высокие функционально-технологические свойства (ВУС, ЖУС, ЭС), о чем свидетельствуют данные таблицы 6.18. 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

Неотъемлемой частью питания современного человека являются соусы, которые формируют и улучшают вкусовые достоинства и разнообразие пищевых продуктов, повышают их пищевую ценность и усвояемость.

Эмульсионные соусы являются в настоящее время самыми распространенными, характеризуются как легкоусвояемые.

В связи с ростом интереса населения к здоровому питанию активно развивается сегмент инновационных эмульсионных соусов. В 2018 году категории эмульсионных соусов демонстрировали позитивный тренд – рост более 7% в натуральном выражении [44]. Все большей популярностью пользуется продукция с пониженным содержанием жиров, легких диетических эмульсионных соусов. Учитывая тенденции развития пищевой науки на повышение функциональности продуктов и заинтересованность потребителей в этих продуктах, разработка рецептур и технологий низкокалорийных, в частности эмульсионных соусов с использованием натурального сырья является актуальной задачей.

Эмульсионный соус в соответствии с нормативными документами имеет следующее определение: тонкодисперсный эмульсионный продукт с содержанием жира не менее 15%, изготавливаемый из рафинированных дезодорированных растительных масел, воды, с добавлением или без добавления продуктов переработки молока, пищевых добавок и других пищевых ингредиентов [165, 178, 179].

Эмульсионные соусы представляют собой эмульсию прямого типа, что подразумевает использование двух несмешивающихся друг с другом жидкостей: гидрофобная фаза – растительное масло и гидрофильная – водный раствор. Благодаря наличию в эмульсионных продуктах двух фаз: жировой и водной, расширяется выбор физиологически функциональных ингредиентов для повышения их пищевой ценности и функциональной значимости. С этой целью могут использоваться как жиро- так и водорастворимые биологически активные вещества: витамины, ПНЖК семейства ω -3 и ω -6, белковые компоненты, минеральные вещества, пищевые волокна, пребиотики, пробиотики и пр. В настоящее время активно исследуются и разрабатываются рецептуры соусов эмульсионного типа функционального назначения [6, 11, 22, 36, 45, 52, 105, 177, 191, 209].

Показаны возможности расширения ассортимента соусов на основе выявления потребительских предпочтений и проектирования продуктов питания с использованием добавок натурального происхождения, обеспечивающих требуемую пищевую и физиологическую ценность готовой продукции [56]. Потребители, в первую очередь интересуются следующими показателями эмульсионных соусов: массовая доля жира, срок годности, количество пищевых добавок, массовая доля белка и стоимость продукции [173].

На основании современных требований к безопасности и качеству, которые основываются на правовой нормативной документации, рекомендациях нутрициологии и предпочтениях потребителей можно сформулировать основные направления создания эмульсионных соусов для здорового питания:

- снижение содержания жировой фазы при увеличении и оптимизации соотношения ПНЖК;
- повышение биологической ценности путем введения полноценного белка, пищевых волокон, водо- и жирорастворимых витаминов, дефицитных микронутриентов;
- введение веществ, способствующих увеличению сроков хранения, сдерживающих окислительную и микробиологическую порчу;
- снижение калорийности продукта;
- введение в качестве технологических добавок высокоэффективных эмульгаторов, стабилизаторов, загустителей растительного происхождения, которые обладают физиологическими свойствами.

Традиционная рецептура эмульсионных соусов, например майонезного типа, включает жировую фазу - обычно растительное масло, эмульгатор, стабилизатор, пищевую кислоту, вкусовые добавки, воду. Компоненты смешивают в определенном соотношении.

В качестве компонентов, проявляющих эмульгирующие и стабилизирующие свойства, используют яичный порошок, так как он содержит яичный лецитин и белковые соединения, а также горчичный порошок и сухое молоко в качестве источников белковых комплексов [121, 132]. При этом

соединения белковой природы обуславливают, в основном, стабилизирующее и влагосвязывающее действие, а яичный лецитин является эмульгирующим агентом.

Для дополнительной стабилизации эмульсионных продуктов широко используют полисахариды природного происхождения (гидроколлоиды): камеди, каррагинан и его соли, гуммиарабик и пр. [1]. Стабилизаторы способствуют повышению устойчивости эмульсионного продукта вследствие повышения вязкости. При оптимальном подборе эмульгатор и стабилизатор проявляют синергетическое действие относительно друг друга и тем самым обеспечивают высокие потребительские свойства продукта.

Анализ патентной и научно-технической литературы показал, что в основном создание эмульсионных жировых продуктов для здорового питания направлено на их обогащение различными биологически активными веществами и пищевыми волокнами, снижение калорийности и холестеринсодержащих компонентов, а также обогащение эссенциальными ПНЖК, за счет использования смесей растительных масел со сбалансированным жирнокислотным составом [6, 122, 123, 124, 126, 128, 131, 130, 129].

Цель настоящего раздела - разработка рецептур, оценка качества и получение опытных образцов эмульсионных соусов с льняной мукой, адаптированных для промышленного производства.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- обосновать выбор льняной муки для дальнейшего использования в разработке новых рецептур эмульсионных соусов;
- создать смесь растительных масел, сбалансированной по соотношению ω -3 и ω -6 жирных кислот;
- показать возможность замены эмульгаторов животного происхождения (яичного желтка) на льняную муку;
- определить количество вводимой льняной муки для создания стабильной эмульсии;

- провести органолептическую оценку разработанных эмульсионных соусов с льняной мукой;
- определить технологические режимы производства эмульсионного соуса 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 (таблица 7.24) и функционально-технологические свойства.

Льняная мука характеризуется высоким содержанием пищевых волокон, представляющих полисахариды различного типа. В связи с этим использование льняной муки позволит увеличить физиологическую ценность продукта благодаря способности пищевых волокон стимулировать работу ЖКТ.

Таблица 7.24 - Физико-химические свойства, пищевая ценность льняной, соевой и пшеничной муки

| Наименование | Массовая доля влаги, % | Зольность, % | Цвет | Содержание, % | | | | | Энергетическая ценность, ккал |
|-------------------------------|------------------------|--------------|------------------------------|---------------|------|-----------|-----------------|-------------|-------------------------------|
| | | | | белка | жира | углеводов | Пищевых волокон | | |
| | | | | | | | общее | растворимых | |
| Льняная мука полуобезжиренная | 5,8 | 3,95 | От светло-серого до бежевого | 27,8 | 5,0 | 40,0 | 29,0 | 1,72 | 305 |
| *Соевая мука полуобезжиренная | 9,0 | 5,2 | Светло-желтый | 45,6 | 6,3 | 31,0 | 2,9 | - | 355 |
| *Пшеничная мука I сорта | 14,0 | 0,7 | Белый | 10,6 | 1,3 | 73,2 | 4,9 | - | 329 |

*данные источника [196]

При высоком содержании белка и пищевых волокон льняная мука характеризуется меньшей калорийностью по сравнению с традиционной пшеничной и широко используемой соевой мукой. Пищевые волокна адсорбируют вредные вещества и токсины, выводят их из организма,

нормализуют работу желудочно-кишечного тракта, замедляют усвоение жиров и углеводов, снижают уровень холестерина. Льняная мука, как показали проведенные ранее исследования, является хорошим эмульгатором, стабилизатором, а также обладает способностью прочно удерживать жир и воду [114].

По содержанию незаменимых аминокислот белковый комплекс льняной муки превышает аналогичные показатели яичного желтка, который является компонентом традиционных эмульсионных соусов майонезного типа. В таблице 7.25 приведены данные по составу незаменимых аминокислот муки льняной полуобезжиренной и яичного желтка.

Таблица 7.25 – Состав незаменимых аминокислот яичного желтка и льняной муки [15, 200]

| Наименование незаменимой аминокислоты | Содержание незаменимых аминокислот, г/100г продукта | |
|---------------------------------------|---|---------------|
| | Мука льняная полуобезжиренная | Яичный желток |
| Изолейцин | 1,59 | 0,907 |
| Лейцин | 2,74 | 1,381 |
| Лизин | 1,21 | 1,156 |
| Метионин + цистин | 1,18 | 0,690 |
| Фенилаланин + тирозин | 4,45 | 1,395 |
| Треонин | 1,72 | 0,830 |
| Триптофан | 0,95 | 0,236 |
| Валин | 2,29 | 0,937 |

Определение общего количества сахаров и редуцирующих сахаров показало, что льняная мука характеризуется низким содержанием простых сахаров – не более $1,53 \pm 0,07\%$. Они составляют практически 1/3 часть от общего количества сахаров, что наглядно продемонстрировано на диаграмме рисунка 7.27. Это позволяет считать, что внесение льняной муки в рецептуру продукта будет способствовать снижению его гликемического индекса.

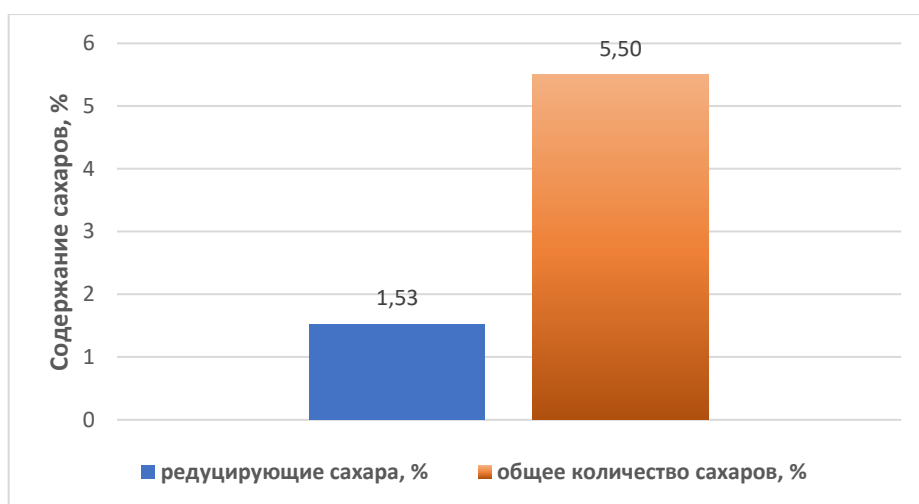


Рисунок 7.27 – Содержание сахаров в льняной муке

Наличие полярных групп в полисахаридных и белковых макромолекулах льняной муки объясняет ее поверхностно-активные и структурообразующие свойства. Льняная мука обладает высокими функциональными свойствами: ВУС, ЖУС, ЭС (эмульгирующей способностью). Значения этих показателей представлены в таблице 6.18. Было установлено, что водные эмульсии растительного масла в присутствии льняной муки в соотношении масло: вода: льняная мука = 5:5:1 не расслаивались в течение 6 часов. Вероятно, поверхностно-активные и структурообразующие свойства льняной муки обеспечивают устойчивость таких эмульсий во времени.

Таким образом, льняная мука может использоваться в качестве функционального ингредиента, повышающего пищевую ценность продукта.

С целью оптимизации жировой фазы эмульсионного продукта были проанализированы данные по жирнокислотному составу широко используемых растительных масел и масел с известным высоким содержанием ПНЖК класса ω -3. Для исследований были выбраны подсолнечное, рапсовое, оливковое, кукурузное масла, широко используемые в пищевой промышленности. Следует отметить, что в традиционном российском подсолнечном масле α -линоленовая кислота, основной представитель ПНЖК класса ω -3 практически отсутствует. В качестве источника α -линоленовой кислоты использовали льняное масло.

Были созданы липидные композиции, позволяющие повысить биологическую ценность эмульсионных продуктов в соответствии с рекомендациями [90]. С использованием программы Excel были рассчитаны содержание НЖК, МНЖК, ПНЖК и их соотношения в этих композициях, представленные в таблице 7.26.

Разработанные липидные композиции характеризуются улучшенным жирнокислотным составом: увеличено содержание особо ценной α -линоленовой кислоты; сбалансирован комплекс поли-, мононенасыщенных и насыщенных жирных кислот, стало более рациональным соотношение ω -6 и ω -3 ПНЖК, что соответствует рекомендациям института питания РАМН РФ для жирового рациона [36].

Таблица 7.26 – Соотношение жирных кислот в липидных композициях

| Композиции растительных масел | Содержание жирных кислот, % от их суммы | | | | Рекомендуемые ФАО/ВОЗ соотношения ПНЖК ω -9: ω -6: ω -3 = 30:10:1 | |
|--|---|-----------------------------------|-----------------------|-------------|--|---------------------------------------|
| | Насыщенные НЖК | Мононенасыщенные МНЖК ω -9 | Полиненасыщенные ПНЖК | | ω -6: ω -3 | ω -9: ω -6: ω -3 |
| | | | ω -6 | ω -3 | | |
| рапсовое 45%+ оливковое 10%+ кукурузное 45% | 8,75 | 40,61 | 42,6 | 4,36 | 9,7:1 | 9,3:9,7:1 |
| подсолнечное 45%+ оливковое 10% + рапсовое 45% | 9,14 | 40,16 | 42,41 | 4,31 | 9,8:1 | 9,3:9,8:1 |
| оливковое 50% + льняное 50% | 11,80 | 48,3 | 10,70 | 28,30 | 0,4:1 | 1,7:0,4:1 |
| оливковое 90% + льняное 10% | 14,60 | 62,75 | 12,38 | 5,32 | 2,3:1 | 11,8:2,3:1 |
| оливковое 30% + льняное 10% + подсолнечное 60% | 12,81 | 37,25 | 8,57 | 5,32 | 1,6:1 | 7:1,6:1 |
| оливковое 20% + льняное 10% + подсолнечное 70% | 12,50 | 33,00 | 49,9 | 5,32 | 9,4:1 | 6,2:9,4:1 |
| подсолнечное 80% + льняное 20% | 11,80 | 24,00 | 48,36 | 10,64 | 4,5:1 | 2,3:4,5:1 |

Так, липидная композиция: подсолнечное масло (60%): оливковое (30%): льняное (10%) обладает близким к рекомендуемому соотношением ПНЖК ω -9: ω -6: ω -3=7:1,6:1 и устойчива к окислительным процессам. При определении показателей перекисного числа жировой фазы соусов во время хранения было установлено, что к концу срока хранения образцов соусов через 100 суток этот показатель увеличивался незначительно, что представлено в таблице 7.27.

Таблица 7.27 – Изменение показателей льняных соусов в процессе хранения

| Сутки | Соус льняной | | Соус льняной острый | | Соус льняной ореховый | |
|-------|----------------------------|---|----------------------------|---|----------------------------|---|
| | Перекисное число, ммоль/кг | Кислотность, в пересчете на уксусную кислоту, % | Перекисное число, ммоль/кг | Кислотность, в пересчете на уксусную кислоту, % | Перекисное число, ммоль/кг | Кислотность, в пересчете на уксусную кислоту, % |
| 0 | 0,10 | 0,44 | 0,10 | 0,72 | 0,10 | 0,50 |
| 7 | 0,10 | 0,45 | 0,10 | 0,72 | 0,10 | 0,52 |
| 14 | 0,10 | 0,46 | 0,10 | 0,72 | 0,10 | 0,52 |
| 28 | 0,10 | 0,45 | 0,10 | 0,74 | 0,10 | 0,52 |
| 45 | 0,10 | 0,45 | 0,10 | 0,75 | 0,10 | 0,52 |
| 65 | 0,10 | 0,45 | 0,10 | 0,76 | 0,10 | 0,52 |
| 95 | 0,12 | 0,48 | 0,27 | 0,82 | 0,10 | 0,59 |
| 120 | 0,23 | 0,66 | 0,27 | 0,85 | 0,10 | 0,59 |

За основу рецептуры был выбран эмульсионный соус, изготовленный по рецептуре № 884 [160]. Рецепт был унифицирован путем замены муки пшеничной и яиц льняной мукой микронизированной. Рецепт соусов с льняной мукой приведена в таблице 7.28.

Предварительно проведенные эксперименты показали, что для получения соусов требуемого качества и консистенции необходимо вводить льняную муку в количестве 3-6%. В этом случае консистенция соуса была однородной со стойкостью - 100% неразрушенной эмульсии. При введении льняной муки менее 3% соус становился жидким и не стойким. При содержании льняной муки более 6% соус приобретал пастообразную консистенцию и был малоподвижен.

Соусы были обогащены специями, овощами, пряностями. На основании органолептического анализа разработанных соусов были исключены варианты, имеющие посторонние привкусы, с излишне кислым вкусом и неудовлетворительной консистенцией.

Таблица 7.28 – Рецептура эмульсионных соусов с льняной мукой

| Наименование компонентов | Соус льняной основной | | | Соус ореховый | | | Соус острый | | |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------|-----------------|--------------------------|-----------|-----------------|--------------------------|-----------|-----------------|
| | Рецептура, г/кг продукта | Потери, % | Расход сырья, г | Рецептура, г/кг продукта | Потери, % | Расход сырья, г | Рецептура, г/кг продукта | Потери, % | Расход сырья, г |
| Масло растительное (смесь масел) | 250 | 0,5 | 251,25 | 250 | 0,5 | 251,25 | 250 | 0,5 | 251,25 |
| Мука льняная | 50 | 1,5 | 50,75 | 40 | 1,5 | 40,60 | 40 | 1,5 | 40,60 |
| Горчичный порошок | 50 | 1,5 | 50,75 | 50 | 1,5 | 50,75 | 60 | 1,5 | 60,90 |
| Уксусная (лимонная) кислота | 40 | 1,5 | 40,60 | 40 | 1,5 | 40,60 | 40 | 1,5 | 40,60 |
| Сахар песок | 10 | 1,5 | 10,15 | 10 | 1,5 | 10,15 | 10 | 1,5 | 10,15 |
| Соль поваренная | 3 | 1,5 | 3,05 | 3 | 1,5 | 3,05 | 3 | 1,5 | 3,05 |
| Вода питьевая | 574 | 1,5 | 582,61 | 484 | 1,5 | 491,26 | 469 | 1,5 | 476,04 |
| Орехи молотые (грецкие, фундук и др.) | - | - | - | 100 | 10 | 110 | - | - | - |
| Томат паста | - | - | - | - | - | - | 100 | 10 | 110 |
| Чеснок свежий, измельченный | 14 | 15 | 16,10 | 14 | 15 | 16,10 | 14 | 15 | 16,10 |
| Перец черный | 3 | 0,5 | 3,01 | 3 | 0,5 | 3,01 | 5 | 0,5 | 5,03 |
| Куркума молотая | 3 | 0,5 | 3,01 | 3 | 0,5 | 3,01 | 3 | 0,5 | 3,01 |
| Имбирь сухой, измельченный | 3 | 0,5 | 3,01 | 3 | 0,5 | 3,01 | 3 | 0,5 | 3,01 |
| Красный жгучий перец | - | - | - | - | - | - | 3 | 0,5 | 3,01 |
| ИТОГО | 1000 | | 1014,29 | 1000 | | 1022,79 | 1000 | | 1022,75 |

Полученные соусы были проанализированы по органолептическим и основным физико-химическим показателям. Данные в сравнении с контрольным образцом представлены в таблице 7.29.

Таблица 7.29 – Пищевая, энергетическая ценность и физико-химические показатели эмульсионных соусов с льняной мукой

| Наименование показателя | Характеристика и значение показателя | | | |
|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| | Контроль (рецептура №884) [160] | Основной | Ореховый | Острый |
| Внешний вид и консистенция | Однородный сметанообразный с единичными пузырьками воздуха | | | |
| Вкус и запах | Кисловатый без выраженной горечи с запахом уксусной кислоты | Свежий вкус с ароматом льняной муки | Ореховый вкус и аромат льняной муки | Вкус слегка острый, кисловатый. Свежий аромат |
| Цвет | Желтовато-кремовый | Желтовато-кремовый | Кремовый | Розовато-кремовый |
| Массовая доля, %: | | | | |
| - влаги | 18,03±0,90 | 57,7±2,88 | 48,4±2,42 | 46,9±2,35 |
| - липидов | 78,20±3,91 | 26,2±1,31 | 32,4±1,62 | 26,4±1,32 |
| - белка | 1,77±0,09 | 4,03±0,20 | 5,11±0,11 | 4,46±0,22 |
| - углеводов в т.ч. пищевых волокон | 2,00±0,1 отсутствие | 12,07±0,6 2,70±0,13 | 14,09±0,7 3,82±0,19 | 22,24±1,11 4,32±0,22 |
| Стойкость эмульсии, % неразрушенной эмульсии | 99 | 100 | 100 | 100 |
| pH | 4,2 | 5,0 | 4,7 | 4,2 |
| Кислотность, в пересчете на уксусную к-ту, % | 0,47±0,02 | 0,43±0,02 | 0,42±0,02 | 0,45±0,02 |
| Энергетическая ценность, ккал | 719 | 300 | 370 | 344 |

Из данных таблицы 7.29 следует, что соусы с льняной мукой характеризуются меньшей калорийностью, содержание жира 26–32%. Соусы характеризуются высоким содержанием белка: в 2 раза выше, чем в контроле. Соусы содержат пищевые волокна, микроэлементы, витамины. Эмульсионная устойчивость соусов льняных - практически 100%.

По степени удовлетворения незаменимых физиологических ингредиентов соусы с льняной мукой являются источниками, прежде всего, ПНЖК ω -3, о чем свидетельствуют данные таблицы 7.30.

Таблица 7.30 - Степень удовлетворения суточной потребности в основных пищевых веществах льняных эмульсионных соусов

| пищевые ингредиенты | соус льняной | степень удовлетвор. суточной потребн. % | соус льняной острый | степень удовлетвор. суточной потребн. % | соус льняной ореховый | степень удовлетвор. суточной потребн. % |
|-------------------------|--------------|---|---------------------|---|-----------------------|---|
| белки | 4,03 | 5,4 | 4,46 | 5,9 | 5,11 | 6,8 |
| жиры, в т.ч. | 25,99 | 28,9 | 26,02 | 28,9 | 32,41 | 36,0 |
| НЖК | 3,3 | 13,2 | 3,29 | 13,2 | 3,86 | 15,4 |
| ω - 9 | 9,4 | 31,3 | 9,57 | 31,9 | 10,27 | 34,2 |
| ω -6 | 2,17 | 21,7 | 2,33 | 23,3 | 5,93 | 59,3 |
| ω - 3 | 1,42 | 32,3 | 1,57 | 35,7 | 2,42 | 55,0 |
| Пищевые волокна | 2,7 | 13,5 | 4,32 | 21,6 | 3,82 | 19,1 |
| Энергетическая ценность | 300 | 13,4 | 344 | 15,0 | 370 | 16,0 |

В соответствии с устоявшейся в пищевой промышленности терминологией, в рамках модели многокомпонентной системы пищевых продуктов был выбран ряд показателей качества, который наиболее полно характеризует разрабатываемые изделия.

Оценка отдельных показателей качества служила основой для расчета комплексного показателя продукта (Q). Коэффициенты весомости являются количественными характеристиками значимости органолептических показателей [147].

Для пищевых продуктов наиболее важными показателями являются вкус, запах и консистенция. Обычно вкусо-ароматическим показателям отводят до 40-60% общего количества баллов, консистенции – 20-25%.

Результаты оценочных действий эксперты заносили в дегустационные листы. Затем проводилась статистическая обработка индивидуальных оценок и рассчитывались комплексные показатели. Полученные данные были представлены в виде профилограмм отдельных показателей качества, либо комплексной оценки.

На основании количественных оценок дескрипторов для разработанных соусов были определены профилограммы качества, представленные на рисунке 7.28.

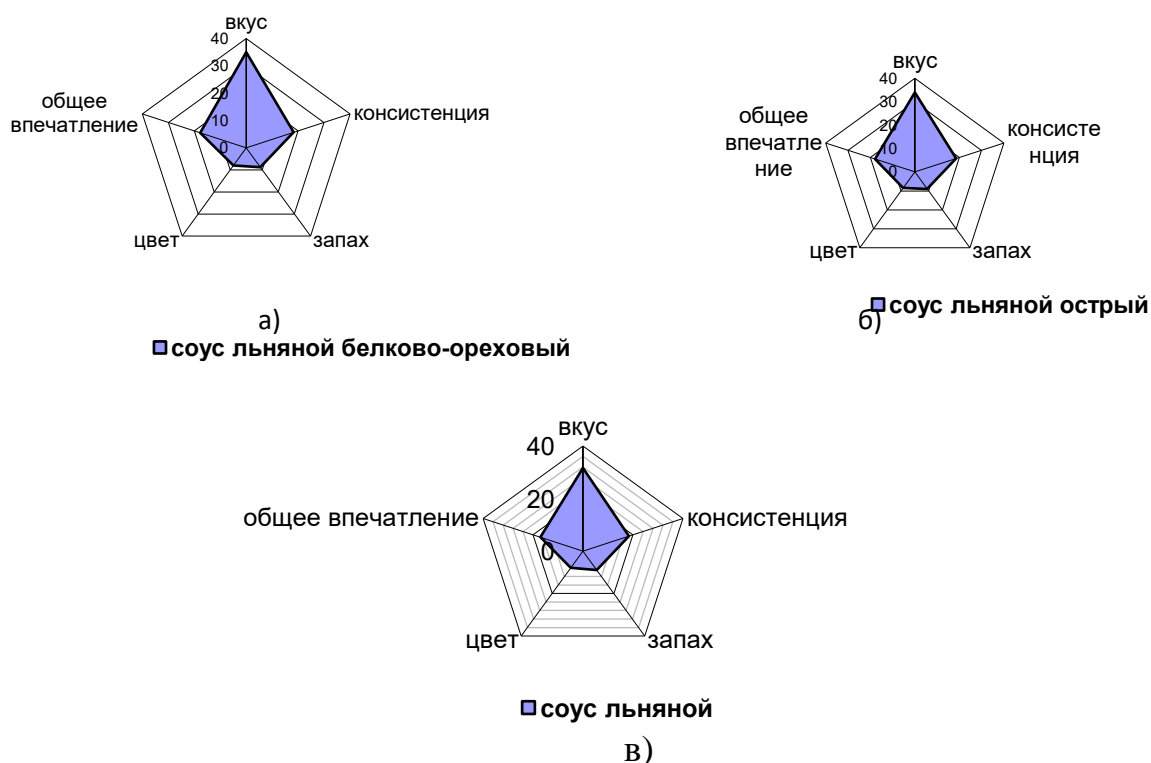


Рисунок 7.28 - Профилограммы качества льняных соусов: а – соус льняной белково-ореховый, б – соус льняной острый, в – соус льняной

Были рассчитаны комплексные показатели разработанных льняных соусов, представленные в таблице 7.31. Комплексные показатели соусов превышали 80%, что является хорошим уровнем качества новых эмульсионных продуктов.

Таблица 7.31 – Комплексные показатели льняных соусов

| Показатель | Соус льняной | Соус льняной ореховый | Соус льняной острый |
|--------------------------|--------------|-----------------------|---------------------|
| Комплексный показатель Q | 83.93 | 87.76 | 87.80 |

Разработанные соусы представляют собой эмульсионный продукт, характеризующийся нежным и приятным вкусом, однородной, не

расслаивающейся, оптимально густой консистенцией, приятным салатным ароматом и цветом – от желтовато-кремового до розовато-кремового.

С целью расширения ассортимента эмульсионных соусов с льняной мукой были разработаны овощные соусы с льняной мукой. Наиболее целесообразно было введение в соусы с льняной мукой овощного пюре, которое придаст своеобразный ярко выраженный вкус и цвет. Первоначально было приготовлено 8 разновидностей овощных соусов с различными овощами и сочетанием ингредиентного состава. В качестве критерия при выборе оптимальных рецептур использовались органолептические показатели и введение максимально возможных количеств льняной муки. На основании органолептического анализа были исключены варианты, имеющие посторонние привкусы, с излишне кислым вкусом и неудовлетворительной консистенцией (слишком жидкие, или плотные, расслаивающиеся).

В качестве добавок были выбраны: овощное пюре морковное и свекольное, а также свежемолотый корень хрена, которые являются источниками некрахмальных полисахаридов, в первую очередь, пектиновых веществ, минеральных компонентов и витаминов. Разработанные рецептуры овощных эмульсионных соусов приведены в таблице 7.32.

Органолептические и физико-химические показатели овощных эмульсионных соусов с льняной мукой приведены в таблицах 7.32–7.34.

Полученный по разработанной рецептуре соус льняной «Морковный» имел приятный кисловатый вкус с ароматом моркови, ярко оранжевый оттенок, однородную не расслаивающуюся консистенцию. Образец соуса с льняной мукой «Свекольный» имел приятный кисло-сладкий вкус, однородную не расслаивающуюся консистенцию и ярко бордовый оттенок. Образец соуса с льняной мукой с хреном имел острый жгучий вкус характерный для хрена, белого цвета, не расслаивающуюся консистенцию.

Таблица 7.32 – Рецептура эмульсионных соусов с льняной мукой и овощными добавками

| Наименование компонентов | Соус льняной с хреном | | | Соус «Свекольный» | | | Соус «Морковный» | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------|--------------------------------|--------------|--------------------|--------------------------------|--------------|--------------------|
| | Рецептура, г/кг продукта | Потери, % | Расход сырья, г | Рецептура, г/кг продукта | Потери, % | Расход сырья, г | Рецептура, г/кг продукта | Потери, % | Расход сырья, г |
| Масло растительное (смесь масел) | 250 | 0,5 | 251,25 | 250 | 0,5 | 251,25 | 250 | 0,5 | 251,25 |
| Мука льняная | 50 | 1,5 | 50,75 | 50 | 1,5 | 50,75 | 50 | 1,5 | 50,75 |
| Горчичный порошок | 50 | 1,5 | 50,75 | 50 | 1,5 | 50,75 | 50 | 1,5 | 50,75 |
| Лимонная кислота | 40 | 1,5 | 40,60 | 40 | 1,5 | 40,60 | 40 | 1,5 | 40,60 |
| Сахар песок | 30 | 1,5 | 30,45 | 40 | 1,5 | 40,60 | 20 | 1,5 | 20,30 |
| Соль поваренная | 10 | 1,5 | 10,15 | 10 | 1,5 | 10,15 | 10 | 1,5 | 10,15 |
| Вода питьевая | 389,5 | 1,5 | 395,34 | 309,5 | 1,5 | 314,14 | 329 | 1,5 | 333,94 |
| Корень хрена измельченный | 180 | 20 | 216,00 | - | - | - | - | - | - |
| Свекольное пюре | - | - | - | 250 | 20 | 300,00 | - | - | - |
| Морковное пюре | - | - | - | - | - | - | 250 | 20 | 300,00 |
| Перец черный | - | - | - | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Имбирь сухой, измельченный | - | - | - | - | - | - | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Красный жгучий перец | 0,5 | 0,5 | 0,50 | - | - | - | - | - | - |
| ИТОГО | 1000 | | 1045,79 | 1000 | | 1058,74 | 1000 | | 1058,74 |

Таблица 7.33 – Органолептические показатели опытных образцов овощных эмульсионных соусов с льняной мукой

| Показатель | Контроль | Соус с хреном | Соус «Свекольный» | Соус «Морковный» |
|--------------|-----------------------------------|---|--|---|
| Консистенция | Сметанообразная | Сметанообразная | Сметанообразная | Сметанообразная |
| Внешний вид | Однородный без расслоения | Однородный без расслоения | Однородный без расслоения | Однородный без расслоения |
| Цвет | Кремовато-желтый | Белый, однородный по всей массе | Ярко-бордовый оттенок | Ярко-оранжевый оттенок |
| Запах | С запахом уксусной кислоты | С ароматом хрена | С ароматом свеклы | С ароматом моркови |
| Вкус | Кисловатый, без выраженной горечи | Острый, соответствует наименованию продукта | Кисло-сладкий, соответствует наименованию продукта | Кисловатый, соответствует наименованию продукта |

Таблица 7.34 - Физико-химические и реологические показатели опытных образцов овощных эмульсионных соусов с льняной мукой

| Показатель | Контроль | Соус с хреном | Соус «Свекольный» | Соус «Морковный» |
|--|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Массовая доля, % | | | | |
| Влаги | 18,03±0,90 | 38,95±1,95 | 30,95±1,55 | 32,91±1,65 |
| Липидов | 78,20±3,91 | 26,4±1,32 | 26,20±1,31 | 25,43±1,27 |
| Белка | 1,77±0,09 | 4,46±0,22 | 4,20±0,21 | 4,03±0,20 |
| Углеводов, в том числе пищевых волокон | 2,00±0,10 отсутствие | 8,80±0,44 6,80±0,34 | 8,40±0,42 6,40±0,32 | 8,20±0,41 6,20±0,31 |
| Кислотность в пересчете на уксусную кислоту, % | 0,47±0,02 | 0,45±0,02 | 0,43±0,02 | 0,42±0,02 |
| Стойкость неразрушенной эмульсии, % | 99 | 100 | 100 | 100 |
| pH | 4,2 | 4,7 | 4,2 | 4,4 |
| Эффективная вязкость, (Па.с) при 20° С и скорости сдвига 3 с ⁻¹ | 18,0 | 18,0 | 20,0 | 18,0 |
| Массовая доля β-каротина, мг/100г | - | - | - | 3,1 |

Данные по основным физико-химическим показателям разработанных овощных соусов с льняной мукой представлены в таблице 7.35.

Таблица 7.35 – Физико-химические показатели овощных соусов с льняной мукой

| Показатель | Соусы овощные с льняной мукой |
|--|-------------------------------|
| Массовая доля жира, % | 25,0 |
| Массовая доля влаги, % | 60,0 |
| Массовая доля белка, % | 4,0 |
| Массовая доля углеводов, % | 6,0-9,0 |
| Кислотность, % в пересчете на уксусную кислоту | 0,43 |
| Стойкость эмульсии, % неразрушенной эмульсии | 100 |
| Эффективная вязкость при температуре 20° С, Па.С (при скорости сдвига $D_t = 3 \text{ c}^{-1}$) | 18,0 - 22,0 |
| рН | 4,5 – 5,0 |
| Энергетическая ценность, ккал/100г | 273 |

Определение степени удовлетворения суточной потребности овощных соусов с льняной мукой проводили путем сравнения с нормами физиологических потребностей, указанных в МР 2.3.1.0253-21 [90]. Так, физиологическая потребность в белке для взрослого населения – от 65 до 117 г/сутки для мужчин, и от 58 до 87 г/сутки для женщин; физиологическая потребность в жирах – от 70 до 154 г/сутки для мужчин и от 60 до 102 г/сутки для женщин; физиологическая потребность в углеводах для взрослого человека составляет от 257 до 586 г/сутки; физиологическая потребность в пищевых волокнах для взрослого человека составляет 20 г/сутки. Для расчета степени удовлетворения суточной потребности использовали усредненные значения по белку (88 г/сутки), по жирам (107 г/сутки), по углеводам (422 г/сутки). Физиологическая потребность в энергии для взрослых – от 2100 до 4200 ккал/сутки для мужчин и от 1800 до 3050 ккал/сутки для женщин.

Степень удовлетворения суточной потребности основных пищевых веществ для овощных эмульсионных соусов представлена в таблице 7.36.

Эмульсионные соусы, содержащие пищевые волокна льняного семени в количестве не менее 3 г в 100 г продукта в соответствии с рекомендациями ФАО/ВОЗ могут рассматриваться как источник этого функционального

ингредиента; при содержании 6 г пищевых волокон в 100 г продукта – считаются обогащенными пищевыми волокнами.

Таблица 7.36 – Степень удовлетворения суточной потребности основных пищевых веществ овощных эмульсионных соусов с льняной мукой

| Пищевые ингредиенты | Соус «Морковный» | Степень удовлетвор. суточной потребн., % | Соус «Свекольный» | Степень удовлетвор. суточной потребн., % | Соус с хреном | Степень удовлетвор. суточной потребн., % |
|---------------------|------------------|--|-------------------|--|---------------|--|
| Белки, % | 4,03 | 4,6 | 4,2 | 4,8 | 4,46 | 5,1 |
| Жиры, % | 25,4 | 25,0 | 26,2 | 25,7 | 26,4 | 25,8 |
| Углеводы, % | 8,2 | 1,4 | 8,4 | 1,47 | 8,8 | 1,54 |
| Пищевые волокна, % | 6,2 | 31,0 | 6,4 | 32,0 | 6,8 | 34,0 |

Пищевая ценность разработанных овощных соусов определяется уникальным белковым составом, который представлен полноценным усвояемым белком растительного происхождения (льняная мука, овощные пюре), а также жирнокислотным составом (смесь растительных масел в оптимальном соотношении омега-кислот). За счет внесения овощного пюре соусы являются источником природной клетчатки и пектиновых веществ, выполняющих функции перистальтики кишечника и вывода из организма вредных чужеродных ингредиентов.

Разработка технологической схемы эмульсионных соусов с льняной мукой

Процесс получения эмульсионных соусов включает смешивание в определенном соотношении и порядке растительного масла, эмульгатора, стабилизатора, пищевой кислоты, вкусовых добавок, воды, пастеризацию и гомогенизацию. Разработанная рецептура предполагает замену нескольких традиционных компонентов, использующихся в качестве эмульгаторов (яичного порошка, обезжиренного молока, концентрата белков молочной сыворотки), на один – льняную муку, а также использование предварительно подготовленной смеси растительных масел.

Технологические свойства новых компонентов, в частности льняной муки, вызвали необходимость корректировки некоторых стадий получения

эмульсионного продукта. Разработанная технология получения эмульсионных соусов с льняной мукой включает следующие стадии:

1. Подготовка сырья
 - 1.1. Приготовление 6%-ного раствора уксусной или лимонной кислоты.
 - 1.2. Специальная подготовка льняной муки.
 - 1.3. Подготовка горчичного порошка.
 - 1.4. Подготовка сыпучих продуктов.
 - 1.5. Подготовка смеси растительных масел.
 - 1.6. Дозирование.
2. Смешивание
3. Пастеризация
4. Получение грубой эмульсии
 - 4.1. Загрузка растительного масла.
 - 4.2. Загрузка кислоты.
5. Получение тонкодисперсной эмульсии (гомогенизация)
6. Упаковка готового продукта

Технологическая схема процесса представлена на рисунке 7.29.

Процесс подготовки льняной муки включает ее микронизацию. Как было показано выше (глава 5) микронизация улучшает органолептические свойства льняного сырья, повышает его биологическую ценность. На этапе смешивания температурный режим подачи воды должен быть в пределах 20-25°C, так как при 50-60°C льняная мука, содержащая большое количество слизи «заваривается» и ее невозможно размешать. Поэтому смесь сухих ингредиентов сначала перемешивается с водой, а потом нагревается до температуры 78-80°C и пастеризуется.



Рисунок 7.29 – Технологическая схема получения эмульсионных соусов с использованием льняной муки

На стадии получения грубой эмульсии для обогащения жирнокислотного состава жировой фазы эмульсионного продукта используется предварительно подготовленная смесь масел в соответствии с вариантами, предложенными в таблице 7.26.

Таким образом, разработаны новые рецептуры и технология низкокалорийных (содержание жира 25-32%) эмульсионных соусов с льняной мукой для здорового питания без использования яичных и молочных продуктов, химических консервантов, загустителей, эмульгаторов, антиокислителей и красителей.

Разработан проект Технических условий на соусы льняные «Будь здоров» ТУ 9143-001-10784971-12, где указаны требования к качеству и безопасности продукта, методы контроля, упаковки, транспортирования и хранения.

Разработана Технологическая инструкция на соусы льняные «Будь здоров», где указана рецептура и технология изготовления соусов.

Разработанная технология защищена патентом (№ 2524076).

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. Большинство подобных продуктов высококалорийны вследствие избытка жиров и углеводов [40, 138]. Низкое содержание в кондитерских пастах белков, полиненасыщенных жирных кислот, минеральных веществ и витаминов делает необходимым повышение их потребительской ценности за счет варьирования состава продукта введением добавок, повышающих пищевую ценность. Ассортимент кондитерских паст невелик несмотря на то, что они могут использоваться и в профилактическом, и в диетическом, и в лечебном питании, поскольку благодаря им натуральные растительные вещества могут вводиться в организм в наиболее легкоусвояемом виде [158].

Цель настоящей части раздела – определение возможности использования семян льна и льняной муки для разработки 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 масличных сортов и льняная мука, а также семена тыквы, ядра грецкого ореха и арахиса. Характеристика основных ингредиентов представлена в таблице 7.37.

Таблица 7.37 – Химический состав семян масличных культур и продуктов их переработки

| Наименование показателя | Значение показателя | | | | |
|----------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------|
| | Семена льна [200] | Льняная мука [200] | Семена тыквы очищенные [196] | Ядро грецкого ореха [8] | Ядро арахиса [196] |
| Массовая доля влаги, % | 5,0 | 15,0 | 5,2 | 4,5 | 2,5 |
| Массовая доля липидов, % | 40,0 | 10,0 | 49,1 | 67,0 | 52,0 |
| Массовая доля протеина, % | 22,0 | 36,0 | 30,2 | 16,2 | 26,0 |
| Массовая доля углеводов, % | 28,0 | 9,0 | 10,7 | 10,1 | 13,4 |
| Массовая доля золы, % | 3,5 | 3,3 | - | 2,2 | 1,2 |
| Пищевые волокна, % | 28,0 | 30,0 | 6,0 | 1,6 | 4,8 |

Все добавки характеризуются высоким содержанием липидов, протеинов. Для повышения органолептических свойств новых продуктов использовали микронизированные семена льна и льняную муку.

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 5.10) усиливается интенсивность сладкого и ярко-выраженного орехового привкусов.

Для обогащения вкусовой гаммы кондитерских паст была проведена серия экспериментов по подбору вкусо-ароматических добавок. Оценку совместимости добавки с органолептическими показателями пасты определяли сенсорно, по 5-балльной шкале, по методике, описанной в [26].

Наивысшую оценку (5 баллов) 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 продукт приобретал насыщенный цвет и шоколадный аромат.

При разработке рецептур оценивали влияние соотношения компонентов рецептуры на консистенцию продукта. К консистенции кондитерских паст предъявляются требования пластичности, способности сохранять форму и хорошо намазываться. Обеспечение таких свойств достигается технически обоснованной дозировкой компонентов. Для определения оптимального соотношения ингредиентов предварительно ограничили верхний и нижний пределы их включения в рецептуру с диапазонами варьирования, %: для льняного продукта (семян, муки) – от 4 до 20 (с шагом 2), масла – от 8 до 20 (с шагом 1), сахара – от 10 до 30 (с шагом 2), сухого молока – от 15 до 30 (с шагом 2), какао-порошка – от 4 до 12 (с шагом 2). Было отработано 30 вариантов рецептур с различным дозированием компонентов. Критерием оптимизации служил комплексный органолептический показатель (КОП), требуемое значение которого – 4,5-5 баллов по стандартизованной 5-балльной шкале – достигалось при соотношении (%) 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. 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.

Рецептуры кондитерских паст с льняным семенем и льняной мукой, отобранные по органолептическим и функционально-технологическим свойствам, представлены в таблице 7.38.

Таблица 7.38 – Рецептура кондитерских паст в г на 1000 г готового продукта

| Наименование сырья | Рецептура | | | | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 базовая | 2 базовая | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Вода | 400 | 420 | 375 | 375 | 375 | 400 | 410 |
| Сахарная пудра | 260 | 250 | 230 | 230 | 230 | 250 | 250 |
| Растительное масло | 120 | 120 | 110 | 110 | 110 | 120 | 120 |
| Какао-порошок | 80 | 80 | 70 | 70 | 70 | 76 | 80 |
| Молоко сухое | 60 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Семена льна | 40 | - | 40 | 40 | 40 | 50 | - |
| Льняная мука | 40 | 90 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 |
| Орехи грецкие | - | - | 65 | - | - | - | - |
| Орехи арахисовые | - | - | - | 65 | - | - | - |
| Семена тыквы | - | - | - | - | 65 | - | - |
| Корица | - | - | - | - | - | 4 | 4 |
| Ванилин | - | - | 20 | 20 | 20 | - | - |

Результаты исследования органолептических и физико-химических показателей пасты представлены в таблицах 7.39 и 7.40.

Таблица 7.39 – Органолептические показатели кондитерской пасты с льняной мукой

| Показатель | Характеристика показателя |
|----------------------------|---|
| Внешний вид и консистенция | Однородная масса коричневого цвета |
| Структура | Хорошо намазывающаяся пластичная масса |
| Вкус, запах | Вкус и аромат шоколада с привкусом растительного сырья и ароматом введенной добавки: корицы, ванилина, орехов |

Таблица 7.40 – Физико-химические показатели кондитерской пасты с льняной мукой

| Показатель | Значение |
|---|----------|
| Массовая доля влаги, % не более | 40 |
| Массовая доля жира, % | 20-25 |
| Массовая доля общего сахара в пересчете на сахарозу, % не менее | 25 |
| Кислотное число, мг КОН/г, не более | 6 |
| Перекисное число, ммоль $\frac{1}{2}$ O/kg, не более | 10 |

Пищевая и энергетическая ценность кондитерских паст с семенами льна и льняной мукой представлены в таблице 7.41.

Таблица 7.41 – Пищевая и энергетическая ценность кондитерской пасты с семенами льна и льняной мукой

| Показатель | Значение, в 100 г* |
|---|-------------------------|
| | Рецептура разработанная |
| Белки, г | 14,1 |
| Жиры, г | 23,5 |
| Углеводы, г | 58,0 |
| Энергетическая ценность, ккал | 502 |
| Рекомендуемое соотношение белки: жиры: углеводы = 1:1,2-4:4,5 [137] | 1:1,7:4,1 |

* Примечание: усредненные значения показателей

Разработанные образцы кондитерских паст с льняной мукой характеризуются невысокой энергетической ценностью. Соотношение белков, жиров и углеводов в этих кондитерских пастах близко к оптимальному.

Результаты оценки качества льняных паст профильным методом сенсорного анализа представлены на рисунке 7.30

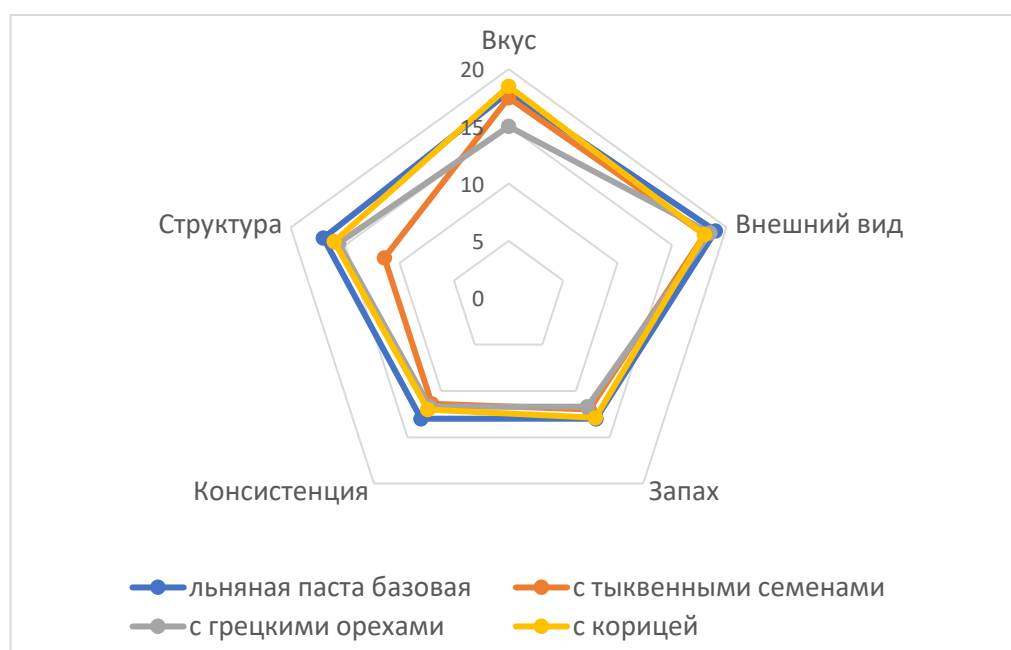


Рисунок 7.30 – Профилограммы образцов разработанных льняных кондитерских паст

Комплексные показатели разработанных кондитерских паст находятся в пределах 70-80%, что является хорошим уровнем качества льняных паст.

Лучшими рецептурами, получившие наиболее высокие органолептические оценки были признаны базовые рецептуры с сменами тыквы, с корицей и с грецкими орехами.

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 7.42.

Таблица 7.42 – Содержание эссенциальных нутриентов в кондитерских пастах с льняной мукой и семенами льна

| Наименование изделия | Белок | | ΣНАК | | ПНЖК | | ПНЖК ω-3 | | Пищевые волокна | |
|--|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| | г/100 г прод укта | СУСП, % | г/100 г прод укта | СУСП, % | г/100 г прод укта | СУСП, % | г/100 г прод укта | СУСП, % | г/100 г прод укта | СУСП, % |
| Паста с льняной мукой и семенами льна | 5,21 | 8,68 | 2,40 | 19,70 | 8,57 | 35,73 | 2,37 | 59,28 | 5,14 | 25,72 |
| Паста с льняной мукой | 5,35 | 8,92 | 2,37 | 19,44 | 7,79 | 32,47 | 1,77 | 44,25 | 5,52 | 27,62 |
| СУСП – степень удовлетворения *суточной потребности для взрослого человека *усредненная суточная потребность для всех групп взрослого населения | | | | | | | | | | |

Результаты, приведенные в таблице 7.42, 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 44,25 до 59,28%, полный набор незаменимых аминокислот со степенью удовлетворения, превышающей 19%.

Представленные результаты свидетельствуют о перспективности использования семян льна и льняной муки в качестве функционального ингредиента в рецептурах пищевых продуктов, в частности кондитерских паст для расширения ассортимента продукции здорового питания.

Технологическая схема приготовления кондитерских льняных паст представлена на рисунке 7.31.

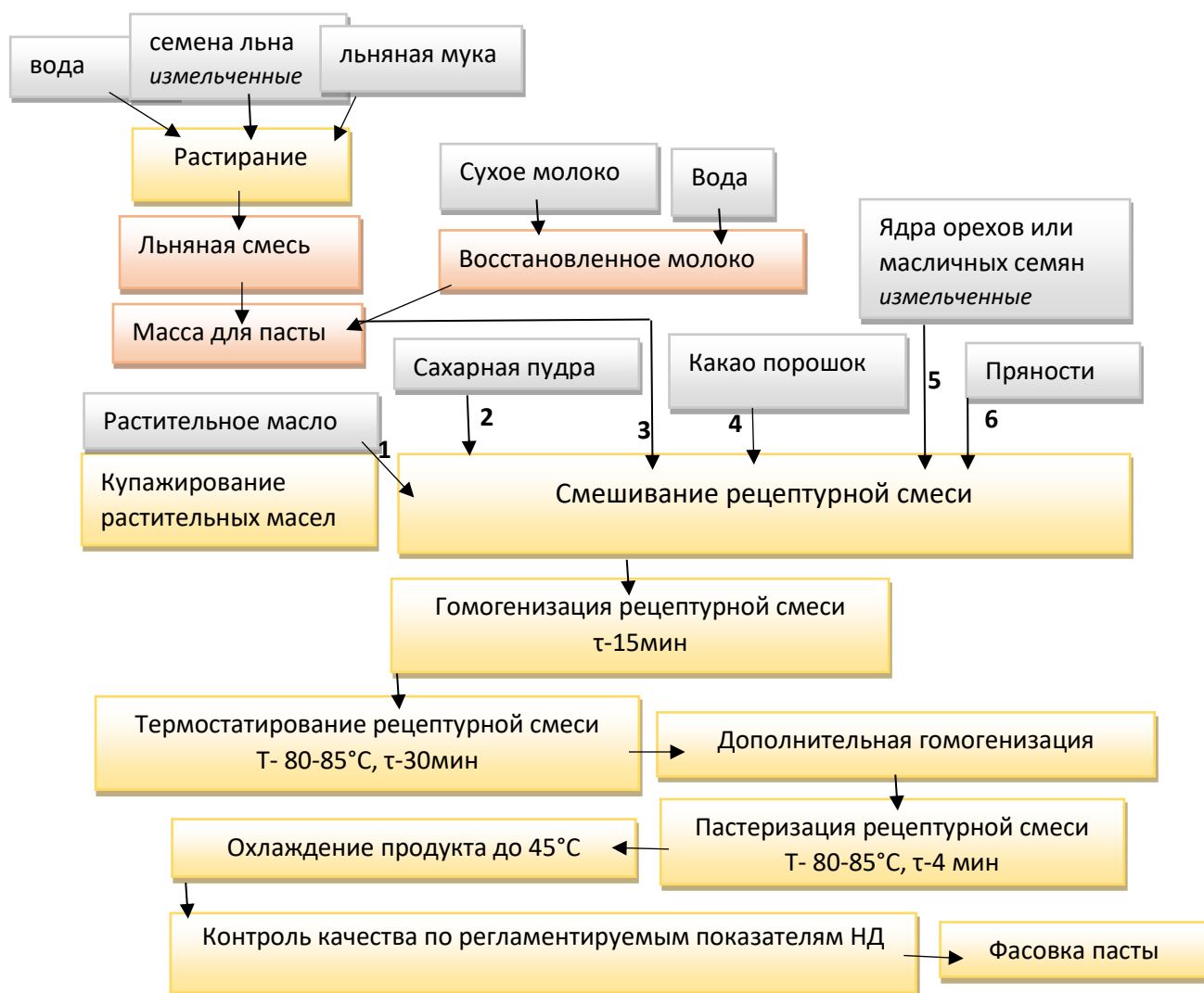


Рисунок 7.31 – Технологическая схема приготовления кондитерских льняных паст

Использование семян льна и льняной муки при получении кондитерских паст имеет свои особенности. Необходимо учитывать своеобразие компонентного состава льняного сырья. Так, семена льна и льняная мука характеризуются высоким содержанием слизи, которые активно впитывают воду и разбухают. Этот процесс значительно влияет на реологические свойства продукта. Кондитерские пасты не предусматривают присутствие воды, только молока в незначительном количестве. При приготовлении паст с льняным семенем и льняной мукой обязательным компонентом является вода, т.к.

смешивание воды с льняной мукой позволяет получить однородную густую пастообразную массу пригодную для введения в рецептуру кондитерских паст. При отсутствии воды в рецептуре паст, продукт получается сухой, сыпучий, непластичный; консистенция неоднородная и не намазывающаяся. Воду вводят, добавляя ее к муке порциями при получении льняной смеси от 25 до 50% (схема на рисунке 7.31). Белок и полисахаридный комплекс льняного семени выполняют роль ПАВ, в качестве которого традиционно используется лецитин.

Заключение по главе 7

С учетом актуальности расширения ассортимента продуктов здорового питания экспериментально обоснованы и разработаны варианты 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. Для каждой группы продуктов разработаны технологические решения по введению льняных ингредиентов в их рецептурные составы, учитывающих особенности макронутриентов семян льна.

Глава 8 Разработка технической документации на пищевые ингредиенты и продукты и опытная апробация

На основании проведенных исследований разработаны пищевые ингредиенты (льняной белковый концентрат, сухой полисахаридный экстракт) и ассортимент пищевых продуктов для здорового питания, включающий мучные кондитерские изделия типа маффинов, в том числе безглютеновые с полисахаридным комплексом семян льна, эмульсионные соусы с льняной мукой, кондитерские пасты с семенами льна и льняной мукой, а также проекты технической документации для промышленного внедрения. Промышленная реализация разработанных технологий и технических решений возможна на предприятиях разного уровня производительности.

Проведена опытная апробация льняного белкового концентрата и сухого полисахаридного экстракта на экспериментальном производстве ВНИИМС (г. Углич). Акты опытной апробации представлены в приложении.

Глава 9 Социально-экономическая эффективность разработанных технологий и продуктов

9.1 Социальная значимость разработанных технологий и продуктов

Современная наука о питании и пищевая индустрия определяют инновационные направления оптимизации питания населения, основанные, во-первых, на новых достижениях агропромышленного комплекса, начиная от агротехнических и селекционных новшеств, и заканчивая разработками пищеперерабатывающей промышленности и торговли, а во-вторых - на создании и использовании продуктов с заданным химическим составом, пищевой ценностью и особенностями физиологического действия, в том числе специализированных продуктов диетического (лечебного и профилактического) питания, обогащенных функциональными ингредиентами. Представленные в настоящей работе технологические разработки находятся в русле этих направлений современной пищевой индустрии и науки о пище и питании.

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

- применении щадящих способов переработки семян льна, обеспечивающих стабильность и сохранность пищевой ценности продуктов переработки;
- создании ассортимента продуктов массового потребления, с использованием компонентов льняного семени, обеспечивающих существенный вклад в здоровое питание и профилактику хронических неинфекционных заболеваний;
- создании технологии получения из шротов и жмыхов, как вторичных продуктов маслодобывающих предприятий, белковых ингредиентов, востребованных пищевой промышленностью.

Социальная значимость разработанных продуктов здорового питания, обогащенных компонентами семян льна, определяется той ролью, которую играют эти продукты в обеспечении структуры здорового питания населения и в профилактике алиментарно-зависимых заболеваний. В семенах льна присутствуют, по крайней мере, четыре группы соединений, характеризующихся специфическим биологическим действием и свойствами: ПНЖК семейства омега-3, растворимые пищевые волокна, лигнаны, а также белок с высокой биологической ценностью.

Профилактические и функциональные свойства компонентов семян льна продемонстрированы в экспериментальных, клинических и эпидемиологических исследованиях методами доказательной медицины и биологии.

Данные по фактическому питанию населения России свидетельствуют о недостаточном потреблении ПНЖК, особенно семейства омега-3. В результате нарушается соотношение в рационе питания ω -6: ω -3, которое в норме должно составлять (5-10):1 – для здорового питания и (3-5):1 – для лечебного и профилактического питания. Оптимизация жирнокислотного состава рациона питания достигается путем расширения ассортимента растительных масел за счет использования льняного масла и купажированных с льняным маслом жировых продуктов.

Обогащение рациона питания населения ПНЖК семейства омега-3, пищевыми волокнами, полноценным белком, а также биологически активными фитоэстрогенами путем создания продуктов здорового питания полностью отвечает принципам и целям науки о питании по оптимизации питания населения.

Разработка и внедрение технологий комплексной переработки российского сырья - семян льна и производства продуктов здорового питания для массового потребления 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 и является

социально значимым направлением в решении задач, поставленных в государственных программах «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации», утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20, «Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 года № 1364-р.

9.2 Экономическое обоснование эффективности разработанных технологий и продуктов

Целью данной части является определение ориентировочной себестоимости разработанных продуктов.

Расчет их себестоимости разработанных продуктов проводили укрупнено калькуляционным методом по следующим статьям калькуляции:

1. Сырье и основные материалы.
2. Транспортные расходы.
3. Вспомогательные материалы.
4. Топливо и энергия на технологические цели.
5. Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих.
6. Отчисления на социальные нужды.
7. Цеховые расходы.
8. Общезаводские расходы.
9. Внепроизводственные расходы.

1. Стоимость сырья и основных материалов определяется по нормам расхода всех видов сырья и материалов на единицу готовой продукции.

2. Транспортные расходы включают затраты на доставку сырья и материалов. Их величина рассчитывается укрупнено 5–10 % от стоимости сырья.

3. Расходы на вспомогательные материалы включают стоимость химикатов, текстильных материалов, смазочных материалов, тары, моющих средств,

инвентаря, упаковочных материалов, которые необходимы для выпуска единицы продукции. Их стоимость рассчитывается укрупнено в размере 10–15 % от стоимости сырья и основных материалов.

4. Затраты топлива и энергии на технологические цели (электроэнергия, вода и др.) рассчитываются в размере 5–10 % от стоимости сырья и основных материалов.

5. Размеры основной и дополнительной заработной платы производственных рабочих на единицу продукции определяются укрупнено в размере 8–15 % от стоимости сырья.

6. Отчисления на социальные нужды включают в себя:

– отчисления на социальные нужды (ОСН) в размере 30 % от фонда оплаты труда производственных рабочих, предназначены для формирования пенсионного фонда, фонда медицинского страхования и фонда социального страхования;

– страхование от несчастных случаев в размере 0,2 % от фонда оплаты труда производственных рабочих.

7. Цеховые расходы включают затраты на амортизацию, содержание и текущий ремонт производственных зданий, расходы на управление и обслуживание цеха в целом: основная и дополнительная заработная плата цехового персонала, расходы на охрану труда и технику безопасности. Эти затраты принимаются в размере 40–50 % от фонда оплаты труда производственных рабочих.

8. Общезаводские расходы включают затраты на управление и организацию производства по предприятию в целом (заработная плата управленческого персонала, командировочные, почтово-телеграфные расходы, подготовка кадров, охрана и др.).

На этапе внедрения изделий в производство уровень этих расходов принимаются в размере 150–200 % от фонда оплаты труда производственных рабочих. Производственная себестоимость единицы продукции определяется как сумма всех вышеперечисленных статей.

9. Внепроизводственные расходы включают в себя затраты по сбыту готовой продукции и принимаются укрупнено в размере 0,1–0,5 % от производственной себестоимости.

Полная себестоимость включает в себя производственную себестоимость и внепроизводственные расходы.

Рассчитав полную себестоимость и установив уровень рентабельности, можно рассчитать прибыль и оптовую цену продукции. Отраслевой уровень рентабельности предприятий пищевой промышленности укрупнено составляет 15–25 %, однако рентабельности при внедрении нового продукта обычно составляет 10%.

Предполагаемая прибыль (Π) рассчитывается по формуле:

$$\Pi = C \cdot P / 100, \quad (9.1)$$

где Π – предполагаемая прибыль, руб;

C – полная себестоимость продукции, руб;

P – среднеотраслевой уровень рентабельности, %.

Оптовая цена единицы продукции определяется по формуле

$$C_{\text{опт}} = C + \Pi, \quad (9.2)$$

Определение себестоимости сухого полисахаридного экстракта

Расчеты потребности и стоимости сырья и основных материалов представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Расчет потребности и стоимости сырья на 1 кг сухого полисахаридного экстракта из семян льна

| Наименование сырья | Количество на 1 кг целевого продукта, кг | Оптовая цена ед. сырья, руб./кг | Стоимость сырья, руб. |
|--------------------|--|---------------------------------|-----------------------|
| Семена льна | 10 | 40,00 | 400,00 |
| Вода питьевая | 200 | 0,023 | 4,60 |
| ИТОГО | | | 404,60 |

Затраты по статьям калькуляции при расчете себестоимости 1 кг сухого полисахаридного экстракта представлены в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Расчет себестоимости 1 кг сухого полисахаридного экстракта

| Статьи затрат | Стоимость, руб |
|---|----------------|
| Сырье и основные материалы | 404,60 |
| Транспортные расходы | 20,23 |
| Вспомогательные материалы | 40,46 |
| Топливо и энергия на технологические цели | 20,23 |
| Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих | 32,37 |
| Отчисления на социальные нужды | 9,77 |
| Цеховые расходы | 12,95 |
| Общезаводские расходы | 48,56 |
| Производственная себестоимость | 589,17 |
| Внепроизводственные расходы | 0,59 |
| Полная себестоимость | 589,76 |
| Предполагаемая прибыль | 59,00 |
| Оптовая цена единицы продукции | 648,76 |

Для обоснования экономической эффективности провели анализ рынка гидроколлоидов, используемых в пищевой промышленности. Ценовой уровень стабилизаторов и эмульгаторов из растительного сырья, предлагаемых на российском рынке, представлен в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Стоимость пищевых добавок из растительного сырья (данные на сентябрь 2019 года)

| Наименование пищевой добавки | Стоимость руб/ кг |
|------------------------------|-------------------|
| Камедь рожкового дерева | 1870 - 2000 |
| Конжаковая камедь | 1120 |
| Гуаровая камедь | 1050 |
| Каррагинганы | 800 - 880 |
| Пектин яблочный | 1550 |
| Пектин цитрусовый | 1700 |
| Агар-агар | 4000 |

Сравнение оптовой цены предлагаемых пищевых добавок из природного растительного сырья и разработанных полисахаридных экстрактов из семян льна

свидетельствует об экономической целесообразности их внедрения в производство. Следует отметить, что практически все пищевые добавки, представленные в таблице 9.3 импортного производства.

Определение ориентировочной себестоимости концентрата белка из льняного жмыха

Отечественный рынок белковых концентратов динамично развивается. Только за I квартал 2019 года его объем вырос на 40% [154]. Повышенная востребованность на белковые концентраты и стремление к импортозамещению стимулируют развитие собственного производства ингредиентов. Однако до сих пор потребности рынка в концентрированных белковых продуктах восполняются большей частью за счет импорта.

Расчет себестоимости белкового концентрата проводили исходя из упрощенной технологии, предназначенной для масштабирования в промышленных условиях. В таблице 9.4 представлены расчеты потребности и стоимости сырья и основных материалов.

Таблица 9.4 – Расчет потребности и стоимости сырья на 1 кг белкового концентрата из льняного жмыха

| Наименование сырья | Количество на 1 кг целевого продукта, кг | Оптовая цена ед. сырья, руб./кг | Стоимость сырья, руб. |
|--------------------|--|---------------------------------|-----------------------|
| Жмых льняной | 5 | 40,00 | 200,00 |
| Вода питьевая | 107,5 | 0,023 | 2,47 |
| Гидроксид натрия | 2,5 | 92,00 | 230,00 |
| ИТОГО | | 432,47 | |

Затраты по статьям калькуляции при расчете себестоимости 1 кг белкового концентрата представлены в таблице 9.5.

Таблица 9.5 – Расчет себестоимости 1 кг белкового концентрата из льняного жмыха

| Статьи затрат | Стоимость, руб |
|---|----------------|
| Сырье и основные материалы | 432,47 |
| Транспортные расходы | 21,62 |
| Вспомогательные материалы | 43,25 |
| Топливо и энергия на технологические цели | 21,62 |
| Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих | 34,60 |
| Отчисления на социальные нужды | 10,45 |
| Цеховые расходы | 13,84 |
| Общезаводские расходы | 51,90 |
| Производственная себестоимость | 629,75 |
| Внепроизводственные расходы | 0,63 |
| Полная себестоимость | 630,38 |
| Предполагаемая прибыль | 63,04 |
| Оптовая цена единицы продукции | 693,42 |

Ожидаемый экономический эффект производства маффинов с продуктами переработки семян льна

Разработанные маффины с льняной мукой и семенами льна могут вырабатываться на существующем технологическом оборудовании по выпуску аналогичной традиционной продукции. При этом не требуется дополнительных затрат на привлечение персонала и основные ресурсы.

Потребность и стоимость сырья для изготовления 1 кг образцов маффинов представлена в таблице 9.6.

Таблица 9.6 – Потребность и стоимость сырья для приготовления контрольного образца и образцов маффинов с льняной мукой и семенами льна

| Наименование сырья | Оптовая цена 1кг сырья, руб | Контрольный образец | | Образец с льняной мукой (10%) | | Образец с семенами льна (10%) | |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| | | Количество на 1 кг продукта, кг | Стоимость сырья, руб | Количество на 1 кг продукта, кг | Стоимость сырья, руб | Количество на 1 кг продукта, кг | Стоимость сырья, руб |
| Мука в.с. | 17,00 | 0,452 | 7,68 | 0,438 | 7,45 | 0,438 | 7,45 |
| Молоко (3,5%) | 35,00 | 0,305 | 10,68 | 0,305 | 10,68 | 0,305 | 10,68 |
| Сахар | 22,00 | 0,101 | 2,22 | 0,101 | 2,22 | 0,101 | 2,22 |
| Вода | 0,023 | 0,203 | 0,01 | 0,203 | 0,01 | 0,203 | 0,01 |
| Разрыхлитель | 170,00 | 0,016 | 2,72 | 0,016 | 2,72 | 0,016 | 2,72 |
| Яйцо 1 шт.(б/скорл) | 2,50 | 0,195 | 0,49 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Соль | 7,00 | 0,010 | 0,07 | 0,010 | 0,07 | 0,010 | 0,07 |
| Масло раст. | 33,00 | 0,102 | 3,34 | 0,102 | 3,34 | 0,102 | 3,34 |
| Льняная мука | 35,00 | 0,00 | 0,00 | 0,049 | 1,72 | 0,00 | 0,00 |
| Семена льна | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,049 | 1,96 |
| Итого | | | 27,21 | | 28,21 | | 28,45 |

Расчет себестоимости и ориентировочной оптовой цены 1 кг разработанных маффинов с льняной мукой и семенами льна представлен в таблице 9.7.

Таблица 9.7 – Расчет ориентировочной оптовой цены 1 кг разработанных маффинов

| Статьи затрат | Стоимость, руб | | |
|---|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Контрольный образец | Образец с льняной мукой (10%) | Образец с семенами льна (10%) |
| Сырье и основные материалы | 27,21 | 28,21 | 28,45 |
| Транспортные расходы | 1,36 | 1,41 | 1,42 |
| Вспомогательные материалы | 2,72 | 2,82 | 2,85 |
| Топливо и энергия на технологические цели | 1,36 | 1,41 | 1,42 |
| Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих | 2,18 | 2,26 | 2,28 |
| Отчисления на социальные нужды | 0,66 | 0,69 | 0,69 |
| Цеховые расходы | 0,87 | 0,90 | 0,91 |
| Общезаводские расходы | 3,27 | 3,39 | 3,42 |
| Производственная себестоимость | 39,63 | 41,09 | 41,44 |
| Внепроизводственные расходы | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Полная себестоимость | 39,67 | 41,13 | 41,48 |
| Предполагаемая прибыль | 3,97 | 4,11 | 4,15 |
| Оптовая цена единицы продукции | 43,64 | 45,24 | 45,63 |

Производственная эффективность от реализации 1 кг маффинов с льняной мукой составит 4,11 руб, с семенами льна – 4,15 руб и в перспективе может быть увеличена при росте объемов реализации продукции. Небольшое увеличение цен на маффины с льняными ингредиентами (3,66 – 4,56%) несравнимо с их нутрицевтическим содержанием и оздоровительным воздействием на организм по сравнению с традиционными маффинами, используемыми в качестве контроля.

Современные рыночные условия стимулируют разработку «здоровых» продуктов, которые неизбежно отличаются более высокой ценой, компенсируемой улучшенным качеством.

В качестве контроля для разработки рецептур безглютеновых маффинов с гидроколлидами семян льна (ПС экстракт) и льняной мукой использовали рецептурный состав с кукурузной мукой, вместо пшеничной и в качестве структурообразователя – кукурузный крахмал. Потребность и стоимость сырья для приготовления контрольного образца и образцов маффинов с льняными компонентами представлена в таблице 9.8.

Таблица 9.8 - Расчет потребности и стоимости сырья для приготовления безглютеновых маффинов

| Наименование сырья | Оптовая цена 1кг сырья, руб | Контрольный образец | | Образец с льняной мукой (15%) | |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| | | Количество на 1 кг продукта, кг | Стоимость сырья, руб | Количество на 1 кг продукта, кг | Стоимость сырья, руб |
| Мука кукурузная | 35,00 | 0,382 | 13,36 | 0,324 | 11,34 |
| Молоко (2,5%) | 35,00 | 0,239 | 8,35 | 0,239 | 8,35 |
| Сахар | 22,00 | 0,080 | 1,75 | 0,08 | 1,75 |
| Вода | 0,023 | 0,159 | 0,01 | 0,318 | 0,01 |
| Разрыхлитель | 170,00 | 0,013 | 2,16 | 0,013 | 2,16 |
| Яйцо | 2,50 | 0,132 | 0,33 | 0 | 0 |
| Соль | 7,00 | 0,008 | 0,06 | 0,008 | 0,06 |
| Масло раст. | 33,00 | 0,080 | 2,62 | 0,080 | 2,62 |
| Крахмал кукурузный | 25,00 | 0,076 | 1,91 | 0 | 0 |
| ПС экстракт | 648,76 | 0 | 0 | 0,00032 | 0,21 |
| Льняная мука | 35,00 | 0 | 0 | 0,057 | 2,00 |
| Итого | | | 30,55 | | 28,50 |

Расчет себестоимости и ориентировочной оптовой цены 1 кг разработанных безглютеновых маффинов с льняной мукой и семенами льна представлен в таблице 9.9.

Таблица 9.9 – Расчет ориентировочной оптовой цены 1 кг разработанных безглютеновых маффинов

| Статьи затрат | Стоимость, руб | |
|---|---------------------|-------------------------------|
| | Контрольный образец | Образец с льняной мукой (15%) |
| Сырье и основные материалы | 30,55 | 28,50 |
| Транспортные расходы | 1,53 | 1,43 |
| Вспомогательные материалы | 3,06 | 2,85 |
| Топливо и энергия на технологические цели | 1,53 | 1,43 |
| Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих | 2,44 | 2,28 |
| Отчисления на социальные нужды | 0,74 | 0,69 |
| Цеховые расходы | 0,98 | 0,91 |
| Общезаводские расходы | 3,66 | 3,42 |
| Производственная себестоимость | 44,49 | 41,51 |
| Внепроизводственные расходы | 0,05 | 0,04 |
| Полная себестоимость | 44,54 | 41,55 |
| Предполагаемая прибыль | 4,45 | 4,16 |
| Оптовая цена единицы продукции | 48,99 | 45,71 |

Ориентировочная цена безглютеновых маффинов, в которых 15% кукурузной муки замещено льняной, при этом в качестве структурообразователя используется полисахаридный экстракт (0,15), а не 20% кукурузного крахмала и исключены яичные продукты, оказалась ниже контрольного образца на 7%. Разработанные продукты обладают значительным конкурентным преимуществом перед импортными аналогами: безглютеновые маффины с семенами льна производства США предлагаются по цене 900-1100 руб за кг (предложения на сайте www.glutenfreemail.com). Безглютеновые маффины с льняной мукой отечественного производства на российском рынке отсутствуют.

Расчет ожидаемого экономического эффекта производства эмульсионных соусов майонезного типа с льняной мукой

Разработанные эмульсионные соусы с льняной мукой могут вырабатываться на существующих технологических линиях, не требуют дополнительных затрат на привлечение персонала и основные ресурсы.

В таблице представлены рецептуры и калорийность разработанных соусов с льняной мукой и в качестве образца сравнения – эмульсионный соус майонезного типа Провансаль [110].

Таблица 9.10 – Рецептуры соусов с льняной мукой и базового образца – майонеза Провансаль

| Наименование компонентов | Майонез Провансаль | | Соус основной | | Соус ореховый | | Соус острый | |
|----------------------------|--------------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|
| | Масс. доля, % | Масс. доля жиров, % | Масс. доля, % | Масс. доля жиров, % | Масс. доля, % | Масс. доля жиров, % | Масс. доля, % | Масс. доля жиров, % |
| Масло растит. | 65,40 | 65,40 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 |
| Яичные продукты | 5,0 | 1,6 | - | - | - | - | - | - |
| Молоко сухое обезжиренное | 1,6 | - | - | - | - | - | - | - |
| Мука льняная | - | - | 5,0 | 0,25 | 4,0 | 0,20 | 4,0 | 0,2 |
| Горчичный порошок | 0,75 | 0,087 | 5,0 | 0,58 | 5,0 | 0,58 | 6,0 | 0,7 |
| Сахар песок | 1,5 | - | 1,0 | - | 1,0 | - | 1,0 | - |
| Соль поваренная | 1,0-1,30 | - | 0,3 | - | 0,3 | - | 0,3 | - |
| Сода пищевая | 0,05 | - | - | - | - | - | - | - |
| Уксусная кислота, 80% 9,0% | 0,55-0,75 | - | 4,0 | - | 4,0 | - | 4,0 | - |
| Вода питьевая | 24,15-23,65 | - | 57,7 | - | 48,4 | - | 47,2 | - |
| Орехи | - | - | - | - | 10,0 | 6,5 | - | - |
| Томат паста | - | - | - | - | - | - | 10,0 | - |
| Чеснок свежий | - | - | 1,1 | - | 1,4 | - | 1,4 | - |
| Перец черный | - | - | 0,3 | - | 0,3 | - | 0,5 | - |
| Кукурма | - | - | 0,3 | - | 0,3 | - | 0,3 | - |
| Имбирь | - | - | 0,3 | - | 0,3 | - | 0,3 | - |
| ИТОГО | 100 | 67,087 | 100 | 25,83 | 100 | 32,28 | 100 | 25,9 |

Расчет себестоимости соусов проводили укрупненно калькуляционными методами по статьям калькуляции, перечисленными в начале главы.

Таблица 9.11 – Потребность и стоимость сырья для приготовления эмульсионных соусов с льняной мукой

| Наименование сырья | Оптовая цена 1кг сырья, руб | Базовый майонез Провансаль | | Соус льняной основной | | Соус льняной ореховый | | Соус льняной острый | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|-------|-------|
| | | Количество на 1 кг продукта, кг | Стоимость сырья, руб | Количество на 1 кг продукта, кг | Стоимость сырья, руб | Количество на 1 кг продукта, кг | Стоимость сырья, руб | Количество на 1 кг продукта, кг | Стоимость сырья, руб | | |
| Масло растительное: | 33,00 | 0,654 | 21,58 | 0,150 | 4,95 | 0,150 | 4,95 | 0,150 | 4,95 | | |
| подсолнечное | 300,00 | | | 0,075 | 22,50 | 0,075 | 22,50 | 0,075 | 22,50 | 0,075 | 22,50 |
| оливковое | 55,00 | | | 0,025 | 1,38 | 0,025 | 1,38 | 0,025 | 1,38 | 0,025 | 1,38 |
| льняное | | | | | | | | | | | |
| Яичные порошок | 75,00 | 0,05 | 3,75 | - | - | - | - | - | - | | |
| Молоко сухое обезжиренное | 180,00 | 0,016 | 2,88 | - | - | - | - | - | - | | |
| Мука льняная | 35,00 | - | - | 0,05 | 1,75 | 0,04 | 1,40 | 0,04 | 1,40 | | |
| Горчичный порошок | 64,00 | 0,008 | 0,51 | 0,05 | 3,20 | 0,05 | 3,20 | 0,06 | 3,84 | | |
| Сахар песок | 22,00 | 0,015 | 0,33 | 0,01 | 0,22 | 0,01 | 0,22 | 0,01 | 0,22 | | |
| Соль поваренная | 7,00 | 0,001 | 0,07 | 0,003 | 0,02 | 0,003 | 0,02 | 0,003 | 0,02 | | |
| Сода пищевая | 25,00 | 0,001 | 0,03 | - | - | - | - | - | - | | |
| Уксусная кислота, 80% 9,0% | 80,00 | 0,001 | 0,08 | 0,04 | 0,08 | 0,04 | 0,08 | 0,04 | 0,08 | | |
| Вода питьевая | 0,023 | 0,24 | 0,01 | 0,577 | 0,013 | 0,484 | 0,011 | 0,472 | 0,01 | | |
| Орехи грецкие | 380,00 | - | | - | - | 0,100 | 38,00 | - | - | | |
| Томат паста | 68,00 | - | | - | - | - | - | 0,100 | 6,80 | | |
| Чеснок свежий | 170,00 | - | | 0,011 | 1,87 | 0,014 | 2,38 | 0,014 | 2,38 | | |
| Перец черный | 260,00 | - | | 0,003 | 0,78 | 0,003 | 0,78 | 0,005 | 1,30 | | |
| Куркума | 150,00 | - | | 0,003 | 0,45 | 0,003 | 0,45 | 0,003 | 0,45 | | |
| Имбирь | 274,00 | - | | 0,003 | 0,82 | 0,003 | 0,82 | 0,003 | 0,82 | | |
| Итого | | | 29,24 | | 38,03 | | 76,19 | | 46,15 | | |

Таблица 9.12 – Расчет ориентировочной оптовой цены 1 кг разработанных соусов

| Статьи затрат | Стоимость, руб | | | |
|---|-----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| | Базовый образец | Соус льняной основной | Соус льняной ореховый | Соус льняной острый |
| Сырье и основные материалы | 29,24 | 38,03 | 76,19 | 46,15 |
| Транспортные расходы | 1,46 | 1,90 | 3,81 | 2,31 |
| Вспомогательные материалы | 2,92 | 3,80 | 7,62 | 4,62 |
| Топливо и энергия на технологические цели | 1,46 | 1,90 | 3,81 | 2,31 |
| Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих | 2,34 | 3,04 | 6,10 | 3,70 |
| Отчисления на социальные нужды | 0,70 | 0,92 | 1,84 | 2,02 |
| Цеховые расходы | 0,94 | 1,22 | 2,44 | 1,48 |
| Общезаводские расходы | 3,51 | 4,56 | 9,15 | 5,55 |
| Производственная себестоимость | 42,57 | 55,37 | 166,33 | 68,14 |
| Внепроизводственные расходы | 0,04 | 0,06 | 0,17 | 0,07 |
| Полная себестоимость | 42,61 | 55,43 | 166,50 | 68,21 |
| Предполагаемая прибыль | 4,26 | 5,54 | 16,65 | 6,82 |
| Оптовая цена единицы продукции | 46,87 | 60,97 | 183,15 | 75,03 |

Расчеты показали, что ориентировочная оптовая цена разработанных соусов выше варианта соуса майонез, вырабатываемого в промышленных масштабах. Рост цены обусловлен, прежде всего, увеличением затрат на сырье. Так, в рецептуре разработанных соусов используется жировая композиция, характеризующаяся рекомендуемым соотношением ПНЖК, которая представляет собой смесь подсолнечного, оливкового и льняного масел и ее стоимость на 33% выше стоимости той жировой фазы, которая используется в рецептуре базового варианта. Разработанные соусы относятся к продуктам

«здорового» питания, соответствуют потребительским предпочтениям части общества, что и дает им конкурентные преимущества.

Расчет ориентировочной себестоимости кондитерских паст с льняной мукой и семенами льна

Расчет себестоимости кондитерских паст проводили укрупненно калькуляционными методами по статьям калькуляции, перечисленным в начале главы. Был осуществлен расчет потребности и стоимости сырья и материалов для соусов с льняной мукой и семенами льна (рецептура 1), с льняной мукой (рецептура 2), с льняной мукой, семенами льна и добавлением грецких орехов (рецептура 3), с льняной мукой, семенами льна и добавлением семян тыквы (рецептура 5). Расчет по статьям калькуляции, приведенный в таблице 9.12, показал, что предполагаемая прибыль составит 5-9 руб с 1 кг разработанной продукции. На отечественном рынке присутствует ограниченный ассортимент кондитерских шоколадных паст. По данным сайта www.agroserver.ru оптовая цена на шоколадные кондитерские пасты российского производства составляет от 150 руб/кг, европейского – 230-320 руб/кг. Таким образом, проектная оптовая цена разработанных паст с льняной мукой и семенами льна в 2 раза ниже аналогичной продукции российского производства и в 3-4 раза ниже европейских. Однако они не уступают по пищевой ценности кондитерским пастам промышленного производства. Следует отметить, что кондитерские пасты с льняной мукой отсутствуют на рынке, что является дополнительным конкурентным преимуществом для производителей.

Таблица 9.13 - Потребность и стоимость сырья для приготовления кондитерских паст с льняной мукой и семенами льна

| Наименование сырья | Рецептура | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| | Оптовая цена 1кг сырья, руб | 1 | | 2 | | 3 | | 5 | |
| | | Количество на 1 кг продукта, г | Стоимость сырья, руб | Количество на 1 кг продукта, г | Стоимость сырья, руб | Количество на 1 кг продукта, г | Стоимость сырья, руб | Количество на 1 кг продукта, г | Стоимость сырья, руб |
| Масло подсолнечн. | 33,00 | 120 | 3,96 | 120 | 3,96 | 110 | 3,63 | 110 | 3,63 |
| Сахарная пудра | 50,00 | 260 | 13,00 | 250 | 12,50 | 230 | 11,50 | 230 | 11,50 |
| Молоко сухое обезжиренное | 180,00 | 60 | 10,80 | 40 | 7,20 | 50 | 9,00 | 50 | 9,00 |
| Какао порошок | 170,00 | 80 | 13,60 | 80 | 13,60 | 70 | 11,90 | 70 | 11,90 |
| Вода питьевая | 0,023 | 400 | 0,01 | 420 | 0,01 | 375 | 0,01 | 375 | 0,01 |
| Мука льняная | 35,00 | 40 | 1,40 | 90 | 3,15 | 40 | 1,40 | 40 | 1,40 |
| Семена льна | 40,00 | 40 | 1,60 | - | - | 40 | 1,60 | 40 | 1,60 |
| Орехи грецкие | 380,00 | - | - | - | - | 65 | 24,70 | - | - |
| Семена тыквы | 350,00 | - | - | - | - | - | - | 65 | 22,75 |
| Корица | 100,00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ванилин | 300,00 | - | - | - | - | 20 | 6,00 | 20 | 6,00 |
| ИТОГО | | | 44,37 | | 40,42 | | 69,74 | | 67,79 |

Таблица 9.14 – Расчет ориентировочной оптовой цены 1 кг

| Статьи затрат | Стоимость, руб | | | |
|---|----------------|--------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 5 |
| Сырье и основные материалы | 44,37 | 40,42 | 69,74 | 67,79 |
| Транспортные расходы | 2,22 | 2,02 | 3,45 | 3,39 |
| Вспомогательные материалы | 4,44 | 4,04 | 6,97 | 6,78 |
| Топливо и энергия на технологические цели | 2,22 | 2,02 | 3,45 | 3,39 |
| Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих | 3,55 | 3,23 | 5,58 | 5,42 |
| Отчисления на социальные нужды | 1,07 | 0,98 | 1,68 | 1,63 |
| Цеховые расходы | 1,42 | 1,29 | 2,23 | 2,17 |
| Общезаводские расходы | 5,33 | 4,85 | 8,37 | 8,13 |
| Производственная себестоимость | 64,62 | 58,85 | 101,47 | 98,70 |
| Внепроизводственные расходы | 0,06 | 0,06 | 0,10 | 0,10 |
| Полная себестоимость | 64,68 | 58,91 | 101,57 | 98,80 |
| Предполагаемая прибыль | 6,47 | 5,89 | 10,16 | 9,88 |
| Оптовая цена единицы продукции | 71,15 | 64,80 | 111,73 | 108,68 |

В настоящей главе 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. Проведенные расчеты обосновали экономическую эффективность разработанных технологий и продуктов.

В таблице 9.15 представлены данные расчетов по разработанным продуктам. 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.

Таблица 9.15 – Показатели разработанных продуктов

| Наименование показателя | Разработанный продукт | | | | | |
|--|-----------------------|---------------|------------|---------------|-------|----------------|
| | Белковый концентрат | ПСэкстракт | МКИ | | Соусы | Кондит. 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% | - 200% |
| 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 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного теоретического и экспериментального исследования решен комплекс научно-практических задач по разработке технологий пищевых ингредиентов семян льна и создания ассортимента продуктов здорового питания, способствующих сохранению и укреплению здоровья населения Российской Федерации.

Итоги выполненных исследований представлены в следующих выводах:

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 FAO/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 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 |
| КСАС- | коэффициент сбалансированности аминокислотного состава |
| КРАС- | коэффициент разбалансированности аминокислотного состава |
| КОАС- | коэффициент отклонения значений аминокислотного состава |
| ПСИ - | показатель сопоставимой избыточности |
| ХБИ- | хлебобулочные изделия |
| МКИ- | мучные кондитерские изделия |
| ФАО- | продовольственная и сельскохозяйственная организация при ООН |
| ВОЗ- | всемирная организация здравоохранения |
| lys- | лизин |
| pect | пектин |
| Rha | рамноза |
| GalA | галактуронозная кислота |
| Ara | арабиноза |
| Xyl | ксилоза |
| AX | арабиноксилан |

Список литературы

1. Авдони́на, Л.А. Физико-химические аспекты производства майонеза в современных условиях /Л. А. Авдони́на, В. В. Амеличев // Масложировая промышленность. – 2011. - №5. – С.30-31.
2. Андреев, А.Н. Влияние камеди рожкового дерева на свойства и качество пшеничного хлеба / А. Н. Андреев, Ю. В. Дмитриева // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2016.- №1. – С. 107-117.
3. Антипова, Л.В. Гигиенические аспекты и перспективы отечественного производства растительных белков / Л. В. Антипова, Н. И. Толпыгина, М. Е. Успенская, В. И. Попов // Гигиена и санитария. – 2015. - №9. – С.51-54.
4. Багрянцева, О.В. Об использовании маркировки «функциональные пищевые продукты» / О.В. Багрянцева, В. К. Мазо, А. А. Кочеткова, Г.Н. Шатров // Переработка молока. – 2013.- №2 (158). - С.64-68.
5. Базарнова, Ю.Г. Применение натуральных гидроколлоидов для стабилизации пищевых продуктов /Ю.Г. Базарнова // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. – 2005. - №2. – С. 84-87.
6. Байгарин, Е.К. Разработка технологии майонезных соусов 25, 15 и 10%-ной жирности, обогащенные токоферолом, про- и пребиотиками / Е. К. Байгарин, Э. В. Морина, К. Д. Горшунова, М. Комиссаров, А. П. Нечаев // Масложировая промышленность. – 2011. - №3. – С.18-22.
7. Барбашов, А.В. Групповой состав белкового комплекса семян льна современных сортов / А.В. Барбашов, С. Ю. Ксандопуло // Известия Вузов. Пищевая технология. - 2005.- № 4.- С.71-72.
8. Барзегова, А.А. Химический состав плодов грецкого ореха // Новые технологии. – 2007. - № 4. – С. 23-25.
9. Баширова, Р.М. Вторичные метаболиты растений /Р. М. Баширова. – Уфа: РИО БашГУ, 2003. – 188с.
10. Безглютеновые продукты: рост популярности во всем мире // Бизнес пищевых ингредиентов. Аналитические обзоры. – 2015. - июнь. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.bfi-online.ru/index.html?kk=980be18c15&msg=4336> (дата обращения 08.08.2018).
11. Берестова, А.В. Особенности технологии выработки пищевых масложировых эмульсий функционального назначения / А.В. Берестова, Г. Б. Зинюхин, Л.В. Межуева // Масла и жиры. – 2019. - № 1 (213). [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.olibranch.com./pub/>
12. Бобкова, К.С. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах севера / К.С. Бобкова, Э. П. Галенко. - С.-Петербург: Наука, 2001. - С.61.

13. Бойцова, Т.М. Настой семени льна в технологии производства ржано-пшеничного хлеба / Т.М. Бойцова, О.М. Назарова // Хлебопечение России. - 2015. - №3. - С. 24 -26.
14. Бухтояров, Р.Ю. Разработка рецептур и оценка потребительских свойств майонезов с применением биологически активных добавок растительного и животного происхождения: Автореферат дисс. ...на соиск. уч. степ. канд. тех. Наук: 05.18.15 /Р. Ю. Бухтояров. – Краснодар. - 2009. – 25с.
15. Бычкова, Е.С. Технологические особенности и перспективы использования растительных белков в индустрии питания. Часть 1. Анализ пищевой и биологической ценности высокобелковых продуктов растительного происхождения / Е.С. Бычкова, Л.Н. Рождественская, В.Д. Погорова, Д.В. Госман, А.Л. Бычков, О.И. Ломовский // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. - №2. – С.53-57.
16. Вавилов, Н.И. Центры происхождения культурных растений. Избранные произведения. Т.1 /Н.И. Вавилов. – Л.- 1967.- 424с.
17. Вершинина, О.Л. Влияние ИК-обработки семян арахиса на кислотное число масла и активность липазы // Известия вузов. Пищевая технология. – 2008. - №2-3. – С.57-58.
18. Веселова, М.В. Химический состав и биологическая активность полифенолов из дальневосточных растений *Taxcus cuspidata*, *Lithospermum erythrorhizon*, *Eritrichium sericeum*, *Maacia amurensis* и их клеточных культур / М.В. Веселова // Автореф. ...канд. хим. наук 02.00.10/ М.В. Веселова. – Владивосток, 2007. – 23с.
19. Виноградов, В.Ф. Технологические и медико-биологические аспекты использования льна как комплексного нутрицевтика / В.Ф. Виноградов, Л.Е. Смирнова, Э.М. Сульман, А.И. Сидоров, В.П. Козлов, И.В. Ущাপовский // «Льняной комплекс России. Проблемы и перспективы». Материалы междунар. конф. – Тверь. - 2001. – С.83-89.
20. Воробьева, И.С. Специализированная пищевая продукция: общие и частные определения и характеристики /И.С. Воробьева, В.М. Воробьева, А.А. Кочеткова, Е.А. Смирнова // Пищевая промышленность. - 2012.-№12.-С.16-18.
21. Ворыханов, А.Е. Совершенствование технологии переработки семян льна с использованием вибрационного экстрактора / А.Е. Ворыханов, А.Ф. Сорокопуд, С.С. Павлов, П.П. Иванов // Техника и технология пищевых производств. – 2012. - №1. – С.1-5.
22. Восканян, О.С. Разработка эмульсионного продукта с функциональными свойствами / О.С. Восканян, А. Ю. Кривова, К.Д. Киншаков, О.Н. Беляева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. - № 12. – С. 46-48.

23. Галкин, Ф.М. Результаты селекции льна масличного / Ф.М. Галкин, Л.Г. Рябенко // История научных исследований во ВНИИМКЕ за 90 лет (Всероссийский НИИ масличных культур). – 2002. – С. 80-87.
24. Геллер, А.А. Практическое руководство по физико-химии волокнообразующих полимеров / А.А. Геллер, Б.Э. Геллер– Л.: Химия, 1972. – 200с.
25. Гичев, Ю.Ю., Гичев, Ю.П. Руководство по биологически активным добавкам/ Ю.Ю. Гичев, Ю. П. Гичев. - М.: «Триада-Х», 2001. - 232с.
26. Голуб, О.В. Дегустационный анализ: Курс лекций / О. В. Голуб. – Кемерово, 2003. – 119с.
27. Горшунова, К.Д. Взаимодействие гидроколлоидов и растворимых витаминов при конструировании обогащенных пищевых продуктов / К.Д. Горшунова, П.А. Семенова, В.В. Бессонов // Пищевая промышленность. – 2012. № 11. – С. 46-49.
28. Горшунова, К.Д. Разработка технологии тепловой обработки рисовой муки для производства вареных колбас /К. Д. Горшунова. - Сб. трудов МГУПП. – М.: МГУПП, 2010. – С.89.
29. ГОСТ 15052-2014 Кексы. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2015. – 6с.
30. Государственный реестр селекционных достижений. ФГБУ «Госсорткомиссия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.reestr.gossortrf.ru/search/> - (дата обращения: 15.01.2021).
31. Гурова, Н.В. Методы определения функциональных свойств соевых белковых препаратов / Н.В. Гурова, И.А. Попело, В.В. Сучков, А.И. Ковалев, Д.П. Марташов // Мясная индустрия. – 2001. - № 9. – С. 30-32.
32. Дворядкина, Е.Б., Чугунова О.В., Тиунов В.М. Особенности рынка полуфабрикатов для производства мучных кулинарных изделий // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания.- 2016.- №4.- С.32-41.
33. Доморощенко, М.Л. Современные тенденции развития технологий и рынка растительных белков из масличных семян / М.Л. Доморощенко // Вестник ВНИИЖ. -2013. -№2.- С.38-43.
34. Доморощенко, М.Л., Исследование функционально-технологических свойств изолятов соевых белков / М.Л. Доморощенко, Т. Ф. Демьяненко, И.М. Камышева, И.Д. Спецакова, В.Я. Стойкова, О.И. Кузнецова // Масложировая промышленность. - 2007. - №4. - С. 24-28.
35. Дорохович, А.Н. Маффины функционального и диетического назначения /А.Н. Дорохович, Н.П. Лазаренко // Научни Трудове на УХТ «Хранителна наука, техника и технологии». – 2012. – Том LIX. – С.108-112.

36. Доценко, С.М. Разработка белковых соусов для функционального питания / С.М. Доценко, О.В. Скрипко, Н.Л. Богданов // Масложировая промышленность. - 2011.- №5.- С. 24-27.
37. Дроздов, И.О. Применение водно-тепловой обработки в технологии переработки проса /И.О. Дроздов, С.В. Зверев, Г.Н. Панкратов // Хлебопродукты. – 2014. - № 8. – С. 62-63.
38. Дыдыкин, А. Функциональное питание – новая концепция здорового образа жизни / А. Дыдыкин, М. Асланова //Журнал «Агротехника и технологии». - 2016. - май-июнь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agroinvestor.ru/technologies/article/23406>. - (дата обращения: 07.08.2018).
39. Дьяков, А.Б. Физиология и экология льна /А.Б. Дьяков. – Краснодар, 2006. – 214с.
40. Егорова, Е.Ю. Разработка рецептуры и товароведная оценка кондитерской пасты со жмыхом кедрового ореха / Е.Ю. Егорова, Н.В. Баташова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2010. - № 4. – С. 36-39.
41. Еделев, Д.А. Нутригеномика как важный фактор при проектировании рациона питания человека / Д.А. Еделев, М.Ю. Сидоренко, М.А. Перминова // Пищевая промышленность. - 2011.- №4.-С.14-17.
42. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю): утвержд. Комиссией таможенного союза от 28.05.2010, № 299; редакция, действующая с 01.06.2019г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902249109> . - (дата обращения: 16.10.2019).
43. Елхов, В.Н. Перспективы использования пищевых ингредиентов в производстве мороженого /В.Н. Елхов //Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. - 2014. -№1. – С. 40-42.
44. Еремина, О. Под другим соусом // Мое дело. Магазин. 2019.-№ 213. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mdmag.ru>
45. Жебо, А.В. Майонезы и майонезные соусы «Таежные» - эмульсионные жировые продукты функционального назначения/ А.В. Жебо, К.Г. Земляк, А.И. Окара // Масложировая промышленность. – 2012. - №2.-С.8-11.
46. Жученко мл., А.А. Мобилизация генетических ресурсов льна /А. А. Жученко мл., Т.А. Рожмина. – Старица, 2000. – 224с.
47. Жученко, А.А. Селекционные формы масличного льна адаптивные к условиям Северо-Западного региона РФ/ А.А. Жученко, Т.А. Рожмина, И.В. Ущиповский, Н.И. Лошакова, Т.В. Крылова. – Торжок: ВНИИЛ. – 2000.
48. Захарова, А.С. Актуальность использования льняной муки и смеси круп при производстве хлебобулочных изделий / Захарова, А.С., Конева С. И. // Ползуновский вестник. - 2016. - №3. - С. 31-34.

49. Зверев, С.В. Высокотемпературная микронизация в производстве зернопродуктов / С. В. Зверев. - М: ДеЛи принт, 2009. – 222с.
50. Зеленцов, С.В. История культуры льна в мире и России / С. В. Зеленцов // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. - 2017. - Вып. 1(169). - С. 93-103.
51. Зеленцов, С.В. Количественная и качественная оценка слизи семян масличных сортов льна *LINUM USITATISSIMUM L.* / С. В. Зеленцов, Е.В. Мошненко // Масличные культуры. Науч.-техн.бюллетень ВНИИМК. – 2012. – Вып.2. - С.95-102.
52. Золотин, А.Ю. Майонезы и майонезные соусы на основе эмульсии ядра кедрового ореха/ А.Ю. Золотин, С. В. Симоненко, Т.А. Антипова, С.В. Фелик, Е.С. Вайнерман // Масложировая промышленность. – 2012. - № 3. – С.10-11.
53. Зубцов, В.А. Стратегия развития технологий в кормопроизводстве по использованию семян льна и продуктов их переработки / В.А. Зубцов, И.Э. Миневич // Вестник ВНИИМЖ. – 2015. - № 4(20). – С.72-79.
54. Зуева, Е.П. Полисахариды в онкологии / Е.П. Зуева, К.А. Лопатина, Т.Г. Разина, А.М. Гурьев. - Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2010.– 108 с.
55. Ильясов, С.Г. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов / С. Г. Ильясов, В. В. Красников. – М.: Пищевая пром-сть, 1978. – 360с.
56. Казанцева, И.Л. Новые продукты функционального назначения группы соусов и формирование потребительского спроса: монография /И. Л. Казанцева, Ю.А. Тырсин. – Саратов: СГТУ, 2014. – 64с.
57. Карпенко, О.М. Питание пациентов старших возрастных групп как значимый фактор качества жизни / О. М. Карпенко, И.М. Жамилов // Здоровье населения и среда обитания. - 2012. - №2 - С.12-14.
58. Касьянов, Г.И. До- и сверхкритическая экстракция: достоинства и недостатки/ Г. И. Касьянов, О.Н. Стасьева, Н.Н. Латин // Пищевая промышленность. – 2005. - №1. – С.36-39.
59. Киреева, М.С. Функционально-технологические свойства семян льна и разработка технологии мучных кондитерских изделий специализированного назначения на их основе / дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 05.18.07 /М.С. Киреева. – С.-Петербург, 2014. - 113с.
60. Коденцова, В.М. Анализ отечественного и международного опыта использования обогащенных витаминами пищевых продуктов /В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская // Вопросы питания. – 2016. - №2. – С. 31-50.
61. Коновалова, Е.В., Красина И.Б., Тарасенкова Н.А. и др. Влияние пищевых волокон на качество кексов / Е.В. Коновалова, И.Б. Красина, Н.А.Тарасенкова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2013. - № 4. – С. 119-120.

62. Концепция обеспечения предприятий льняного комплекса техникой и технологическим оборудованием по выращиванию, уборке льна и его глубокой переработке на 2008–2012 годы и на период до 2020 года / Ю.Ф. Лачуга, Л.С. Орсик, П.А. Чекмарев, Г.А. Гоголев, А.А. Нетесов, И.И. Круглий, М.М. Ковалев, Б.А. Поздняков, Б.Ф. Карпунин. – М.: Минсельхоз России, 2008. – 32 с.
63. Корнен, Н.Н. Методологические подходы к созданию продуктов здорового питания / Н.Н. Корнен, Е.П. Викторова, О.В. Евдокимова // Вопросы питания. - 2015.-Т.84.-№1.-С.95-99.
64. Корячкина, С.Я. Способы повышения пищевой ценности кексов/ С.Я. Корячкина, Т.Н. Лазарева, Т.А. Щетинина // Хлебопродукты. – 2014. - № 7. – С. 44-46.
65. Кочетков, Н.К. Химия углеводов / Н.К. Кочетков, А.Ф. Бочков, Б.А. Дмитриев, А.И. Усов, О.С. Чижов, В.Н. Шибаев. -М.: Химия, 1967. - 672с.
66. Кочеткова, А.А. Актуальные аспекты технического регулирования в области продуктов здорового питания /А.А. Кочеткова // Переработка молока. - 2013.- №10(169). - С.6-9.
67. Кочеткова, А.А. Пищевые гидроколлоиды: теоретические основы / А.А. Кочеткова // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. – 2000. -№1. – С. 23-24.
68. Кочеткова, А.А. Требования к упаковке и маркировке специализированной и функциональной пищевой продукции /А.А. Кочеткова // Кондитерское и хлебопекарное производство. - 2019.- № 3-4.-С. 46-51.
69. Кочеткова, А.А. Функциональные пищевые продукты: общее и частное практических задач /А.А. Кочеткова // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. - 2012.-№1.-С.34.
70. Кочинова, Т.В. Сенсорный анализ продовольственных товаров. Учебно-методическое пособие / Т.В. Кочинова, А.С. Балеевских. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2015. – 54с.
71. Крамаренко, В.Ф. Токсикологическая химия/ В.Ф. Крамаренко. – К.: Выща школа. Головное изд-во, 1989. – 447с.
72. Краснова, Д.А. Изменение содержания белка в семенах льна в зависимости от генетических особенностей сорта / Д.А. Краснова // Достижения науки и техники АПК. – 2010. - №2. – С.22-24.
73. Криштанова, Н.А. Перспективы использования растительных полисахаридов в качестве лечебных и лечебно-профилактических средств / Н.А. Криштанова, М.Ю. Сафонова, В.Ц. Болотова, Е.Д. Павлова, Е.И. Саканян // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. - 2005. - №1. - С.212-221.
74. Кроха, Н.Г. Сравнение функциональных свойств белковых соевых препаратов / Н.Г. Кроха, Г.Р. Геворкян // Масложировая промышленность. - 2006.- №6.- С. 22-23.

75. Ксандопуло, С.Ю. Линамарин и продукты его гидролиза в семенах масличного льна современной селекции / С.Ю. Ксандопуло, А.В. Барбашов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2005.- №5-6.- С.51-53.
76. Кудинов, П.И. Современное состояние и структура мировых ресурсов растительного белка / П.И. Кудинов, Т.В. Щеколдина, А.С. Слизькая // Известия Вузов. Пищевая технология. – 2012. - №5-6. – С.7-10.
77. Кузнецова, Л.И. Поликомпонентные смеси для производства безглютеновых изделий /Л.И. Кузнецова, Н.О. Дубровская//Хлебопекарное производство. - 2014.-№10-С.20-22.
78. Кулакова, С.Н. Особенности растительных масел и их роль в питании / С.Н. Кулакова, В.Г. Байков, В.В. Бессонов, А.П. Нечаев, В.В. Тарасова // Масложировая промышленность. – 2009. - № 3. – С. 16-20.
79. Кулев, Д.Х. Концепция развития отечественного производства пищевых микроингредиентов /Д.Х. Кулев, Т.А. Никифорова //Молочная промышленность. - 2014.-№11.-С.34-37.
80. Кунакова, Р.В. Генетические предпосылки здорового питания /Р.В. Кунакова, Р.А. Зайнуллин, Э.К. Хуснутдинова, Р.И. Хусаинова // Вестник академии наук РБ. – 2014. –Т.19.-№1. – С.5-11.
81. Куракина, А.Н. Функциональные ингредиенты в производстве кондитерских изделий /А.Н. Куракина, И.Б. Красина, Н.А. Тарасенко //Фундаментальные исследования. - 2015.-№6.-С.469-472.
82. Куцик, Р.В. Лен культурный. Аналитический обзор/ Р.В. Куцик, Б.М. Зюзук // Ж. Провизор – 2006. - № 1. – С. 1-3.
83. Лента новостей ИКАР. Итоги года 2018. Масличные [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ikar.ru/lenta/672html> . - (дата обращения 29/04/2019).
84. Липатов, Н. Н., Формализованный анализ amino- и жирнокислотной сбалансированности сырья, перспективного для проектирования продуктов детского питания с задаваемой пищевой адекватностью/ Н.Н. Липатов, Г.Ю. Сажинов, О.Н. Башкиров //Хранение и переработка сельхозсырья. - 2001. - №8. - С.11-14.
85. Лисицын, А.Б. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом / А.Б. Лисицын, И. М. Чернуха, О.И. Лунина // Теория и практика переработки мяса. - 2018. - № 1. - С. 29-45. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45> .- (дата обращения 13.05.2019).
86. Лукомец, В.М. Современное состояние производства и научного обеспечения льна масличного / В.М. Лукомец, А.В. Кочегура, Л.Г. Рябенко // Материалы Международного научно-практического семинара. – Тверь, 2012. – С. 34–36.
87. Льноводство /отв. ред. Рогаш А.Р. – М.: Колос, 1967. – 583с.

88. Мазо, В.К. Обогащенные и функциональные пищевые продукты: сходство и различия / В.К. Мазо, В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская, И.С. Зилова // Вопросы питания. - 2012. - Т.81. - №1. - С.63-68.
89. Малютенкова, С. Товароведение и экспертиза кондитерских товаров / С. Малютенкова. - СПб.: Питер, 2004. - 480с.
90. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.—36 с.
91. Методические указания «Порядок проведения исследований эффективности специализированной диетической лечебной и диетической профилактической пищевой продукции». Письмо Минздрава России от 01.09.2016 №28-1/2406. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456019971>. - (дата обращения: 16.10.2019).
92. Методы биохимического исследования растений/ под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 430с.
93. Миневич, И. Использование семян льна в хлебопечении / И. Миневич, В. Зубцов, Т. Цыганова // Хлебопродукты. - 2010. - №3. - С.38-40.
94. Миневич, И.Э. (2017). 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. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2017-10-3-16-25>
95. 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.
96. Миневич, И.Э. Разработка технологических решений переработки семян льна для создания функциональных продуктов / И.Э. Миневич // дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.18.01. – Москва, 2009. – 176с.
97. Миневич, И.Э. Сравнительная характеристика некоторых видов муки для безглютеновых пищевых продуктов/ И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова // Хлебопродукты. – 2018. - № 8. – С. 42-44.
98. Миневич, И.Э. Функциональные свойства льняных белок-полисахаридных продуктов /И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова // Хлебопродукты. - 2018.-№6.-С.38-39.
99. Минжасов, А.К. Селекция льна масличного на качественный состав масла/ А.К. Минжасов, И.А. Лошкомойников // Международный сельскохозяйственный журнал. -2016.- № 3.- С. 33-35.
100. Минкевич, И.А. Лен масличный / И.А. Минкевич. – М.: Сельхозгиз,1957. – 179с.

101. Мировой рынок здоровых продуктов: тенденции 2017 года. Аналитический обзор // Бизнес пищевых ингредиентов *on line*. 2017 [Электронный ресурс]. -Режим доступа: www.bfi-online/index.html?kk=62d517aa8d&msg=5883 (дата обращения 24.10.2019).
102. Мировой рынок продуктов для здоровья и хорошего самочувствия: последние тенденции. Аналитический обзор // Бизнес пищевых ингредиентов *on line*. 2018 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.bfi-online.ru/index.html?kk=f1b4c00b32&msg=6552>.- (дата обращения 24.10.2019).
103. Мода на лен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrobarsa.ru/gazeta/stati/2016/03/07/moda-na-len.html>.
104. Нечаев, А.П. Пищевые добавки / А.П. Нечаев, А.А. Кочеткова, А.Н. Зайцев. – М.: Колос. – 2001.
105. Нечаев, А.П. Эмульсионные жировые продукты функционального назначения в современном питании / А.П. Нечаев, В.В. Тарасова, Ю.В. Николаева, А.А. Кужлева // Пищевая промышленность. - 2018.- №5.-С.26-29.
106. 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. Режим доступа: <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-1-3-17>
107. Новиков, Э.В. Анализ эффективности первичной переработки льносырья в Российской Федерации / Э.В. Новиков, Е.Н. Королева, А.В. Безбабченко, И.В. Ущуповский // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 2. – С. 71–74.
108. Новиков, Э.В. Масличный лен как глобальный сырьевой ресурс для производства волокна/ Э.В. Новиков, Н.В. Басова, И.В. Ущуповский, А.В. Безбабченко// Молочнохозяйственный вестник. - 2017.- №3.- С.187-2037.
109. Новоселов, В.С. Тайны льна и поиски науки. Кн.1. В глубь тысячелетий / В.С. Новоселов. – Торжок.: ВНИИЛ, 1996. – 139с.
110. Нормы технологического проектирования производства майонеза НТП 53-91. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2> (дата обращения: 18.09.2019)
111. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад. - М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018.-268с.
112. Обзор российского рынка продуктов здорового питания [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.oilworld.ru/analytics/localmarket/263715> (дата обращения: 24.10.2019).

113. Оленников, Д.Н., Исследование процесса экстракции полисахаридов семян льна /Д.Н. Оленников, Л.М. Танхаева //Химия растительного сырья. - 2007. - №4. – С.79-83.
114. Осипова, Л. Л. Исследование функциональных свойств льняных белковых продуктов / Л. Л. Осипова, И.Э. Миневич, В.А. Зубцов // Сб. науч. трудов межд. науч.-практич. конф. «Инновационные процессы – основа модели стратегического развития АПК в XXI веке». - Тверь: ТГСХА, 2011.-Т.2.-С.77.
115. 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 международной научно-практической конференции (31 марта. 2016г.) – Москва: Изд-во ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – С.253-258.
116. Отчет по результатам проведения маркетингового исследования рынка белковых концентратов и текстурированных белковых веществ / [Электронный ресурс]. - Belkovye_koncentracii_i_veshestva_ES_pdf. – 41s. –Режим доступа: <https://crpp.ru> . – (дата обращения: 10.02.2020).
117. Пат. № 2232513 Российская Федерация, МПК А23 J1/14, С11 В1/10. Способ получения альбумино-глобулинового белка «линумина» из жмыха семян льна [Текст] / Стеблинин А.Н., Григорьева А.Л., Миневич И.Э. и др.; ФГБНУ ФНЦ ЛК (RU). – 2002129154. - заявл. 31.10.2002; опубл. 20.07.2004. Бюл. № 20. – 8с.
118. Пат. 2437552 Российская Федерация. МПК, А23J 1/14 Способ получения белка из жмыха семян льна [Текст]/Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Зубцов В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНЦ ЛК (RU). – 2010128645/10. – заявл. 09.07.2010; опубл. 27.12.2011. Бюл. № 36. – 9с.
119. Пат. 2524076 Российская Федерация. МПК, А23L 1/24 Соус майонезного типа с льняной мукой «Будь здоров» /Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Зубцов В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНЦ ЛК (RU). – 2013109883/13. – заявл. 05.03.2013; опубл. 27.07.2014, Бюл. № 21. – 8с.
120. Пат. № 2035162 Российская Федерация. МПК, А23J 1/14 Способ производства белка из семян люпина [Текст]/ Квасенков О.И., Загибалов А.Ф., Касьянов Г.И., Бабков Н.И., Дроздов А.И.; заявитель и патентообладатель Ассоциация делового сотрудничества «Росинтранс» (RU). – 92008943/13. – заявл. 27.11.1992; опубл. 20.05.1995.
121. Пат. № 2064768 Российская Федерация. МПК, А23 L1/24 Майонез и способ его получения [Текст]/ Глинский В.П., Дворецкий Г.Б., Золотин А.Ю. и др.; заявитель и патентообладатель Красноармейский научно-исследовательский институт механизации, Научно-внедренческое предприятие «Депитех» (RU). – 95111355/13. – заявл. 30.06.1995; опубл. 10.08.1996.

122. Пат. № 2099974 Российская Федерация. МПК, А23 L1/24 Способ получения майонеза [Текст]/ Корнена Е.П., Швец Т.В., Ильинова С.А. и др.; заявитель и патентообладатель Бутина Елена Александровна. – 96107435/13. – заявл. 16.04.1996; опубл. 27.12.1997.
123. Пат. № 2120776 Российская Федерация. МПК, А23L 1/24 Диетический майонез [Текст]/ Азнаурьян М.П., Калашева Н.А., Анисимова А.Г., Толмачева И.К.; заявитель и патентообладатель Азнаурьян М.П., Калашева Н.А., Анисимова А.Г., Толмачева И.К. – 97118287/13. – заявл. 13.11.1997; опубл. 27.10.1998.
124. Пат. № 2231270 Российская Федерация. МПК, А23L 1/24 1/30 1/302 Пищевой эмульсионный продукт (варианты) [Текст]/ Рекорд И.Г.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество открытого типа «Продукт – металл» (RU). – 2001134214/13. – заявл. 11.12.2001; опубл. 27.06.2004. Бюл. № 18. – 9с.
125. Пат. № 2358983 Российская Федерация, МПК С08В37/06 Способ получения полисахаридов льна [Текст]/ Ожимкова Е.В., Сульман М.Г., Сидоров А.И.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет» (RU). – 2008100613. - заявл. 09.01.2008; опубл. 20.06.2009; Бюл. №17.-4с.
126. Пат. № 2374925 Российская Федерация. МПК, А23L 1/24 Способ получения майонеза «Легкий» [Текст]/ Бухтояров Р.Ю., Шамкова Н.Т., Бухтоярова З.Т., Тамова М.Ю., Бугаец Н.А.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «КубГТУ» (RU). – 2008112479/13. – заявл. 31.03.2008; опубл. 10.12.2009. Бюл. № 34. – 5с.
127. Пат. № 2625583 Российская Федерация, МПК С08В 37/06 Способ получения полисахаридов льна [Текст]/ Иванов П.П., Павлова Л.Д., Иванова Л.А.; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)» (RU). – 2016134342. - заявл. 22.08.2016; опубл.17.07.2017; Бюл. № 20. -5с.
128. Пат. № 719594. Государственный комитет по делам изобретений и открытий, МПК, А23L 1/24 Способ получения майонеза [Текст]/ Сафонова Л.В., Баранов В.С., Михайлов В.С.; заявитель и патентообладатель Московский ордена трудового красного знамени институт народного хозяйства им. Г.В. Плеханова (RU). – 2618552. – заявл. 18.05.1978; опубл.05.03.1980. Бюл. № 9.
129. Пат. №1194370 Государственный комитет по делам изобретений и открытий, МПК, А23L 1/24 Способ получения майонеза [Текст]/ Введенская И.Д., Жаркова И.М., Красильников В.Н., Михайлова Г.П., Петрова Л.Н., Стеценко А.В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное объединение «Масложирпром» (RU). – 3716455, - заявл. 28.03.1984; опубл. 30.11.1985.
130. Пат. №1465009 Государственный комитет по делам изобретений и открытий, МПК, А23L 1/24 Способ производства майонеза [Текст]/ Бакланов В.А., Гринь В.Т., Хагуров А.А., Шмелева Л.И., Залевская Л.М., Надыкта Г.Д.; заявитель и

- патентообладатель Московский жировой комбинат (RU). – 4301023. – заявл. 31.08.1987; опубл. 15.03.1989. Бюл. №10. – 5с.
131. Пат. №2105501 Российская Федерация. МПК, А23L 1/24 Пищевая эмульсия «масло в воде» [Текст]/ Михайлова Г.П., Стеценко А.В., Тарасова Л.И., Ключкин В.В., Логвинова Т.Т.; заявители Михайлова Г.П., Стеценко А.В., Тарасова Л.И., Ключкин В.В., Логвинова Т.Т.; патентообладатель Михайлова Галина Петровна. – 94021168/13. – заявл. 06.06.1994; опубл. 27.02.1998.
132. Пат. №2374924 Российская Федерация. МПК, А23L 1/24 Способ получения майонеза функционального назначения [Текст]/ Бухтояров Р.Ю., Тамова М.Ю., Шамкова Н.Т., Бугаец Н.А.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «КубГТУ» (RU). – 2008112478/13. – заявл. 31.03.2008; опубл. 10.12.2009. Бюл. № 34. – 6с.
133. Пащенко, Л.П. Новое печенье из овсяной муки / Л.П. Пащенко, В.Л. Пащенко, Л.А. Коваль, И.В. Ущиповский // Кондитерское производство. – 2007. – № 3. – С. 24-26.
134. Петыш, Я. Обзор российского рынка ингредиентов / Я. Петыш // Российский продовольственный рынок. – 2014. - № 2. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.foodmarket.spb.ru/current.php?article=1948> (дата обращения 14.07.2018).
135. Пискунов С.В. Направления развития производства диетических хлебобулочных изделий/ С.В. Пискунов// Хлебопечение России. – 2002. - №6. – С.6-8
136. Пищевая химия / под ред. А.П. Нечаева. СПб.: ГИОРД. – 2003. – 640с.
137. Плешков, Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б.П. Плешков. – М.: Агропромиздат, 1987. – 302с.
138. Позняковский, В.М. Гигиенические основы питания, качество и безопасность пищевых продуктов / В.М. Позняковский. – Новосибирск: Изд-во Сиб. Унив., 2004. – 556с.
139. Понажев, В.П. Состояние и перспективы сырьевого обеспечения льняной отрасли на основе использования научных достижений / В.П. Понажев // Сб. науч. трудов Междунар. науч.-практич. конф. «Современные технологии агропромышленного производства» (2-4 июня 2009г). – Тверь.: «Агросфера А». – Часть I. – С. 13-16.
140. Пороховинова, Е.А. Углеводный состав слизи семян льна и его связь с морфологическими признаками / Е.А. Пороховинова, А.В. Павлов, Н.Б. Брач, К. Морван // Сельскохозяйственная биология. –2017. –Т.52, –№1. –С.161-171. Режим доступа: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.161>
141. Посевные площади, валовые сборы и урожайность льна-кудряша (лен масличный) в России. Итоги 2018 года. "АБ-Центр" [Электронный ресурс]. -Режим доступа: www.ab-centre.ru.- (дата обращения 06.05.2019).

142. Преч, Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Аффольтер. - пер. с англ. Б.Н. Тарасевича. – Бином. Лаборатория знаний, 2006. – С. 251–318.
143. Прянишников, Д.Н. Растения полевой культуры / Д.Н. Прянишников. – М.: Госиздат, 1921. – 108с.
144. Пучков, Е.М. Перспективные малозатратные технологии переработки соломы и тресты льна масличного / Е.М. Пучков, А.В. Безбабченко, Э.В. Новиков // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 4. – С. 58–62.
145. Растительный белок: новые перспективы / под ред. Е.Е. Браудо. – М.: Пищепромиздат, 2000. – 180с.
146. Рогов, И.А. Химия пищи / И.А. Рогов, Л.В. Антипова, Н.И. Дунченко.- М.: КолосС, 2007.- 853с.
147. Родина, Т.Г. Дегустационный анализ продуктов / Т.Г. Родина, Г.А. Вукс // М: Колос, 1994. – 192с.
148. Рождественская, Л.Н. Анализ вызов и современных тенденций развития технологий на рынке белков / Л.Н. Рождественская, Е.С. Бычкова, А.Л. Бычков // Пищевая промышленность. – 2018. - №5. – С.42-47.
149. Российский рынок фруктанов (инулина, фруктоолигосахаридов) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.centripap.ru/report/food/functional/Inulin/> (дата обращения 28.10.2019).
150. Россия – лидер по экспорту масличного льна. ФЦ «Агроэкспорт». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://aemcx.ru/2020/05/15> .- (дата обращения 20.06.2020).
151. Рудик, А.Л. Агротехнические аспекты в оценке выращивания льна / А.Л. Рудик // Экология и строительство. - 2016.- № 3. - С. 15-22.
152. Рудницкая, Ю.И. Безопасность использования льняной муки в технологиях кулинарной продукции / Рудницкая, Ю.И., Березовикова, И.П. // Техника и технология пищевых производств. – 2012. - 1(24). – С. 59-63.
153. Рынок безглютеновой продукции [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https:// www.glutenlife.ru/news/3870.html](https://www.glutenlife.ru/news/3870.html). - (дата обращения 28.03.2018г).
154. Рынок белковых концентратов в России – 2020. Показатели и прогнозы. – 131с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://tebiz.ru> . - (дата обращения 11.03.2020).
155. Рынок белковых концентратов в России достигает рекордных значений //Бизнес пищевых ингредиентов *on line* (4.09.2019). [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.bfi-online/aviews> . - (дата обращения 13.03.2020).
156. Рябцева, С. А. Лактулоза в кисломолочных продуктах: новые разработки / С.А. Рябцева // Переработка молока. - 2012. - № 10. - С. 56-58.

157. Рябцева, С. А. Получение и применение лактулозы: прошлое, настоящее, будущее / С.А. Рябцева // Переработка молока. - 2007. - № 8. - С. 32-35.
158. Савенкова, Т. В. Стратегия инновационного развития кондитерской отрасли. Пищевые ингредиенты и быстрые инновации / Т.В. Савенкова // Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки. – 2013. - №1. – С. 44-47.
159. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. – М.: Экономика, 1981. – 205с.
160. Сборник рецептов мучных кондитерских и булочных изделий / сост. А.В. Павлов. – СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2004. – С.243.
161. Семчиков, Ю.Д. Высокомолекулярные соединения: Учеб. Для вузов / Ю.Д. Семчиков. – М.: Издат.Центр «Академия», 2005. – 368с.
162. Сергеев, А. В. Иммуномодулирующая и противоопухолевая активность растительных полисахаридов / А.В. Сергеев, Т. А. Алиева, Ф. Ф. Бланко, С. А. Сасов, Е. М. Трещалина, М. Я. Шишкина. // Российский биотерапевтический журнал. - 2007. - № 1.- С. 50-56.
163. Скурыхин, И.М. Все о пище с точки зрения химика /И.М. Скурыхин, А.П. Нечаев. – М.: Высшая школа. -1991.- 288с.
164. Солдатенков, А.Т. Основы органической химии пищевых, кормовых и биологически активных добавок: учебное пособие /А.Т. Солдатенков, Н.М. Колягина, Ле Туан Ань. – М.: Химия, 2006. – 278с.
165. Соусы на основе растительных масел. Общие технические условия: ГОСТ Р 52989-2008. – Введ. 2010-01-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 15 с.
166. Спиричев, В.Б. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология /В.Б. Спиричев, Л.Н. Шатнюк, В.М. Поздняковский. – Новосибирск: Сиб.унив.изд-во, 2005. – 548с.
167. Справочник по гидроколлоидам / под ред. Г.О. Филлипса, П.А. Вильямса; пер. с англ. под ред. А.А. Кочетковой, Л.А. Сарафановой. - СПб.: ИД «Профессия», 2012-408с.
168. Статистические данные МСХ РФ. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.mcx.ru/news/news/v7> . - (дата обращения 02.02.2020).
169. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030г: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 г. № 1364-р. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200636/
170. Сулима, Я. В., Макарова Л. Г. Влияние льняной муки в производстве изделий из бисквитного теста / Я.В. Сулима, Л.Г. Макарова //Вестник КрасГау. – 2011. - №4. – С. 150-154.
171. Султаева, Н.Л. Исследование семян льна и разработка на их основе технологии хлебобулочных изделий /Н.Л. Султаева, В.С. Перминова //Интернет-

- журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». -2015.-Т.7.-№1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.15862/145TVN115> . – (дата обращения: 10.08.2017).
172. Сычев, И.А. Биологическая активность растительных полисахаридов / И.А. Сычев, О.В. Калинин, Е.А. Лаксаева // Рос. мед.-биол. вестн. им. акад. И.П. Павлова. - 2009. - №4. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheskaya-aktivnost-rastitelnyh-polisaharidov> (дата обращения: 09.02.2019).
173. Табакаева, О.В. Структурирование функции качества функциональных масложировых эмульсионных продуктов / О.В. Табакаева, А.В. Табакаев, Т.К. Каленик, В.Г. Лукошко // Масложировая промышленность. – 2016.- №3.- С.10-13.
174. Танфильев, Г. Очерк географии и истории главнейших культурных растений / Г. Танфильев. – Госиздат Украины, Одесса, 1923. – 192с.
175. Тарасевич, Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы /Б.Н. Тарасевич. – М.: МГУ, 2012. – 55 с.
176. Тарасова, Р.Н. Исследование пребиотических свойств гетерополисахаридов льна культурного на бактериях *lactobacillus acidophilus* / Р.Н. Тарасова, Е.В. Ожимкова, И.В. Ущиповский // Вестник ТГТУ. - 2018.- вып. 33.- С.61-63.
177. Терещук, Л.В. Технологические аспекты повышения антиоксидантной устойчивости соусов майонезных / Л.В. Терещук, К.В. Старовойтова // Техника и технология пищевых производств. - 2013.-№1.-С.47-53.
178. Технический регламент на масложировую продукцию: ТР ТС 024/2011. – Утв. решением КТС 09.12.11. №883. – Введ. 2013-07-01. – 37с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902352823> (дата обращения 16.10.2019).
179. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011. «О безопасности пищевой продукции»: - Утв. решением КТС 09.12.11. №880. – Введ. 2013-07-01. – 242с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902352823> (дата обращения 16.10.2019).
180. Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания»: принят Решением Совета ЕЭК от 15.06.2012, № 34. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902352823> (дата обращения 16.10.2019).
181. Тимирязев, К.А. Избранные сочинения в 4 томах. Том 3: Жизнь растения. Исторический метод в биологии /К.А. Тимирязев. – М.: ОГИЗ – Сельхозгиз, 1949. – 644с.
182. Тиунов, В.М. Обоснование рецептурного состава и технологических особенностей производства сухих смесей для производства безглютеновых мучных кулинарных изделий / В.М. Тиунов, О.В. Чугунова, Н.В. Заворохина // Вестник

ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2018.-№1.-С.23-31.
<http://doi.org/10.14529/food180103>

183. Толкачев, О.Н. Биологически активные вещества льна: использование в медицине и питании (обзор) / О.Н. Толкачев, А.А. Жученко мл. // Химико-фармацевтический журнал – 2000. – Т.34. - №.7. – С.23-30.

184. Толстогузов, В. Б. Новые формы белковой пищи /В.Б. Толстогузов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303с.

185. Толстогузов? В. Б. Искусственные продукты питания / В.Б. Толстогузов. – М.: Наука, 1978. – 232с.

186. Тренды и технологии в производстве и использовании растительных и микробных белков // Сельскохозяйственные вести. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.agri-news.ru/novosti/ . - (дата обращения 21.09.2020).

187. Труш, М.М Справочник льновода/ М.М Труш, Ф.М Карпунин. – Ленинград, Агропромиздат, 1985. – С. 6-7.

188. Туниева, Е.К. Изучение возможности использования солей калия, кальция, магния взамен хлорида натрия для мясной продукции / Е.К. Туниева // Все о мясе. - 2016. - № 2. - С. 34-36.

189. Тутельян, В.А. Анализ нормативно-методической базы в сфере специализированной пищевой продукции в Российской Федерации / В.А. Тутельян, Н.В. Жилинская, В. А. Саркисян, А. А. Кочеткова // Вопросы питания. – 2017. – Т.86. - № 6. – С. 29-35. <http://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00003> .

190. Тутельян, В.А. Научные основы здорового питания /В.А. Тутельян, А.Н. Разумов, А.И. Вялков [и др.]. - М.: Панорама, 2010. – 816с.

191. Тырсин, Ю.А. Перспективные добавки натурального происхождения в технологии майонезов с функциональными свойствами / Ю.А. Тырсин, И.Л. Казанцева // Масложировая промышленность - 2014. - № 1.- С. 38-41.

192. Ущাপовский, И.В. Генетическое разнообразие льна (*Linum usitatissimum* L.) по гликано-протеиновому составу слизи семян / И.В. Ущাপовский, Е.В. Ожимкова, Э.М. Сульман, Е.И. Мартиросова, И.Г. Плащина // Российская сельскохозяйственная наука. - 2015. - № 4. - С. 14-17.

193. Ущাপовский, И.В. Системные проблемы льнокомплекса России и зарубежья, возможности их решения / И.В. Ущাপовский, Э.В. Новиков, Н.В. Басова, А.В. Безбабченко, А.В. Галкин // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. – № 1 (25). – С. 166-184. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://molochnoe.ru/journal>

194. Федосова, Н. М. Совершенствование методов оценки технологического качества льна и приемов его переработки: монография / Н. М. Федосова, С.М. Вихарев, А.С. Соколов. – Кострома: Изд-во Костром.гос.технол.ун-та, 2013. – 83с.

195. Химический состав российских пищевых продуктов / под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. - М.: ДеЛи принт, 2002. – 237 с.
196. Хотимченко, Р.Ю. Фармаконутрициология некрахмальных полисахаридов / Р.Ю. Хотимченко // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2015. - №2. – С.5-11.
197. Храмцов, А.Г. Пребиотики как функциональные пищевые ингредиенты: терминология, критерии выбора и сравнительной оценки, классификация / А.Г. Храмцов, Р.О. Будкевич, В.Р. Ахмедова, А.Б. Родная, Е.В. Маругина // Вопр. питания.- 2018.-Т. 87. - №. 1. – С. 5-17. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10001> .
198. Христьян, С.А. Эффективность выращивания льна масличного в современных условиях / С.А. Христьян // Молодой ученый. - 2017. - №1. – С. 281-284.
199. 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.
200. 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>
201. Цыганова, Т. Б. К вопросу о пищевой безопасности семян льна и продуктов их переработки / Т. Б. Цыганова, И.Э. Миневич, В.А. Зубцов, Л.Л. Осипова // Хлебопечение России. – 2017. – № 2. – С. 23-26.
202. Цыганова, Т. Б. Пищевая ценность семян льна и перспективные направления их переработки: монография / Т.Б. Цыганова, И.Э. Миневич, В.А. Зубцов, Л.Л. Осипова. - Калуга: Издательство «Эйдос», 2010. -124с.
203. Цыганова, Т. Б. Системный подход к разработке функциональных хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий /Т.Б. Цыганова, С.Я. Классина // Пищевые ингредиенты и биологически активные добавки в технологиях продуктов питания и парфюмерно-косметических средств. - 2019. - С. 66-72.
204. Цыганова, Т. Б. Теория функциональных систем как методологическая основа концепции функционального питания человека / Т. Б. Цыганова, С.Я. Классина// Тюменский медицинский журнал. - 2016.-Т.18.-№3.-С.3-8.
205. Цыганова, Т.Б. Безглютеновые хлебобулочные изделия на основе зернового сырья повышенной биодоступности/ Т. Б. Цыганова, Д.В. Шнейдер, Н.В. Казенова // Функциональные пищевые ингредиенты. - 2013-С.169-189.
206. Цыганова, Т.Б. О перспективах использования семян льна и льняной муки для создания функциональных продуктов / Т. Б. Цыганова, И.Э. Миневич, В.А. Зубцов, Л. Л. Осипова // Хлебопечение России. – 2014. - №4. – С.18-19.

207. Цыганова, Т.Б. Перспективы глубокой переработки семян льна / Т.Б. Цыганова, И.Э. Миневич, В.А. Зубцов, Л.Л. Осипова // Хлебопечение России. – 2016. - №4. – С. 12-15.
208. Чельшева, Е. Применение инулина при производстве низкожирного майонеза // Масла и жиры. – 2017. - № 9 (197). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.olibranch.com/pub/>. – (дата обращения: 25.11.2018).
209. Черных, В. Я. Определение физико-химических характеристик растительных порошков / В.Я. Черных, А.М. Евтушенко, И.Г. Крашенинникова, В.В. Мартиросян, О.А. Годунов // Пищевая промышленность. – 2018. - №1. – С. 51-55.
210. Шендеров, Б.А. Базовые механизмы регуляции гомеостаза и их модуляция нутриентами /Б.А. Шендеров // Клиническое питание. – 2004.-№3.-С.14-19.
211. Шендеров, Б.А. Продукты функционального питания: современное состояние и перспективы их использования в восстановительной медицине /Б.А. Шендеров, А. И. Труханов //Вестник восстановительной медицины. - 2002.-№1.-С.38-42.
212. Шендеров, Б.А. Современное состояние и перспективы развития концепции «Функциональное питание» / Б.А. Шендеров // Пищевая промышленность. – 2003. - №5.-С.4-7.
213. Шендеров, Б.А. Состояние и перспективы развития концепции «Функциональное питание в России»: общие и избранные разделы проблемы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.gastroportal.ru/php/content.php?id=111371 . - (дата обращения: 14.10.2019).
214. Шиповская, А.Б. Методы выделения и физико-химические свойства природных полисахаридов: Учебно-методич. пособие / А.Б. Шиповская. – Саратов.: Саратовск. госуниверситет, 2015. – 64с.
215. Школьникова, М.Н. Разработка классификации функциональных пищевых ингредиентов растительного происхождения / М.Н. Школьникова, Е.В. Аверьянова // Вестник КрасГАУ. – 2017. - №9. – С.85-92.
216. Шульвинская, И.В. Влияние ограниченного гидролиза на биохимические и функциональные свойства белков семян льна / И.В. Шульвинская, В. Г. Щербаков, А.В. Барбашов // Известия Вузов. Пищевая технология – 2006. - №5. – С.30-32.
217. Шульгина, К. Д. Здоровье нации как следствие информированности /К. Д. Шульгина, Е. В. Крюкова // Сб. материалов V школы-конференции «Высокоэффективные пищевые технологии, методы и средства для их реализации» (г. Москва). – М.: МГУПП, 2007. – С.279-281.
218. Щегорец, О.В., Кумскова Н.Д., Горшков С. В. Возделывание льна масличного как инновационный проект диверсификации растениеводства Амурской области / О.В. Щегорец, Н.Д. Кумскова, С.В. Горшков // Дальневосточный аграрный вестник. - 2013. - № 1. - С. 22-26.

219. Щербаков, В. Г. Биохимия и товароведение масличного сырья. Учебник для вузов – 5-е изд. пераб. и доп. /В.Г. Щербаков, В.Г. Лобанов. – М.: КолосС, 2003. – 360с.
220. Щербаков, В. Г. Функциональные свойства термомодифицированных белков семян льна / В.Г. Щербаков, И.В. Шульвинская, А.В. Барбашов //Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. - № 2. – С.35-38.
221. Экспертиза масел, жиров и продуктов их переработки: учеб.-справ. пособие /Е.П. Корнена, С.Л. Калманович и др.; под общ. ред. В.М. Позняковского. – Новосибирск: Сиб.унив.изд-во, 2007. – 272с.
222. Abraham, K., Buhrke T., Lampen A. Bioavailability of cyanide after consumption of a single meal of foods containing high levels of cyanogenic glycosides: a crossover study in humans // Archives of Toxicology. - 2016. – V. 90. – P. 559–574.
223. Adlercreutz, H. Western diet and Western diseases/Scan. Clin. Lab. Invest. - 1990.- V.50.- P.3-23.
224. Adolphe, JL, Whiting Sj, Junrlink BH. Health effects with consumption of the flax lignin secoisolariciresinol diglucoside // Br. J. Nutr. – 2010. – V. 103. – P. 929-938.
225. Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., Ahmed, Z. Extraction and characterization of β -d-glucan from oat for industrial utilization // International Journal of Biological Macromolecules. – 2010. – V.46(3). – P.304–309. <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.01.002>
226. Ahmed, MG., Header, EA., El-Sherif, FA., El-Dashlouty, MS., El-Brollose, SA. Sensory, chemical and biological evaluation of some products fortified by whole flaxseed // Egypt J Agric Res. – 2010. – V. 88. – P. 257–271.
227. Alfredo, V. O., Gabriel, R. R., Luis, C. G., & David, B. A. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.) // Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology. – 2009. – V. 42(1). – P. 168–173. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.012>
228. Aliani, M, Ryland, D., Pierce, GN. Effect of flax addition on the flavor profile and acceptability of bagels // J Food Sci. – 2012. – V.77(1). – P. S62-S70. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02509.x>.
229. Aliev, A.M. The Visial investigation of solubility of biological active substances / A.M. Aliev, G.V. Stepanov // 9-th Meeting on Supercritical Fluids. – Trieste, Italy. – 2004. [Электронный ресурс]. - <https://www.researchgate.net/publication/303798161>
230. Alix, S. Biocomposite materials from flax plants: preparation and properties/ S. Alix, S. Marais, C. Morwan, L. Lebrun //Composites Part A. – 2008.- 39. – P. 1793-1801.
231. Alpaslan, M. & Hayta, M. (2006). The effects of flaxseed, soy and corn flours on the textural and sensory properties of a bakery product // J Food Qual. – 2006. – V. 29. – P. 617–627.

232. Amin, T. & Thakur, M. *Linum usitatissimum* L. (Flaxseed)—A Multifarious Functional Food. // Online International Interdisciplinary Research Journal, {Bi-Monthly}. – 2014. – V. IV(I). – P. 220-238.
233. Ansorena, D, Astiasarán I. The use of linseed oil improves nutritional quality of the lipid fraction of dry-fermented sausages // Food Chem. – 2004. – V. 87. – P. 69–74.
234. Anwar, F., Zreen, Z., Sultana, B., Jamil, A. (2013). Enzyme-aided cold pressing of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.): enhancement in yield, quality and phenolics of the oil // Grasas y Aceites. – 2013. – V. 64(5). – P. 463–471. <http://dx.doi.org/10.3989/gya.132212>
235. Avramenko, N.A., Chang C., Low N.H., Nickerson M.T. Encapsulation of flaxseed oil within native and modified lentil protein-based microcapsules // Food Res. Int.- 2016. - N 81. - P.17–24.
236. Barbary O.M., Al-Sohaimy S.A., El-Saadani M.A. Extraction, Composition and Physicochemical Properties of Flaxseed Mucilage // J.Adv.Agric.Res. - 2009. - V.14(3). - P.605-621.
237. Bashir, S, Masud, T, Latif, A. (2006). Effect of flaxseed (*Linum usitatissimum*) on the baking properties of cakes and cookies // Int J Agric Res. – 2006. – V. 1. – P. 496–502. <http://dx.doi.org/10.3923/ijar.2006.496.502>.
238. Bernacchia, R, Preti R, Vinci G. Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed // Austin J Nutri Food Sci. – 2014. – V. 2 (8). – P. 1045.
239. Bhatta, R.S. Further compositional analyses of flax: Mucilage, trypsin inhibitors and hydrocyanic acid/ R.S. Bhatta// J. Am. Oil Chem. Soc.- 1993.-V 70. – Is 9.-P. 899-904.
240. Bhise, S, Kaur A, Aggarwal P. Development of protein enriched noodles using texturized defatted meal from sunflower, flaxseed and soybean // J Food Sci Technol. – 2014. – V. 52. – P. 5882–5889
241. Bindels, L.B., Delzenne N.M., Cani P.D. et al. Towards a more comprehensive concept for prebiotics // Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol. - 2015.- V. 12. - P.303-310. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2015.47>
242. Blatchford, R., Ansell J., Me Godoy M.R.C. et al. Prebiotic mechanisms, functions and applications – a review // Int. J. Probiotics Prebiotics. - 2013.- V. 8 (4). -P. 19-32.
243. Chen H.-H., Xu S.-Y., Wang Z. Gelation Properties of Flaxseed Gum // Journal of Food Engineering. - 2006. - V.77(2). - P.295-303.
244. Chen, J.K., Bruce, V.M., McDonald, B.E. Dietary α -linolenic acid is as effective as oleic acid and linoleic acid in lowering blood cholesterol in normolipidemic men // Am. J. Clin. Nutr. – 1991. – V. 53. – P. 1230-1234.
245. Conforti, FD & Cachaper, KF. (2009). Effects of selected antioxidants on physical and sensory characteristics of yeast bread containing flaxseed meal // Int J Cons Stud.– 2009.–V.33.–P.89–93.<http://dx.doi.org/10.1111/j.1470-6431.2008.00729.x>.

246. Coonor, W.E. Importance of n-3 fatty acids in health and disease // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2000. – V. 71. – P.197-201.
247. Cruz-Rubio, J.M. Trends in the use of plant non-starch polysaccharides within food, dietary supplements, and pharmaceuticals: beneficial effects on regulation and wellbeing of the intestinal tract // *Sci. Pharm.* – 2018. – P.86. – P. 49. <https://doi.org/10.3390/scipharm86040049>
248. Cui, W. Influence of genotype on chemical composition and rheological properties of flaxseed gums / W. Cui, E. Kenaschuk, G. Mazza // *Food Hydrocolloids.* –1996a. – V.10. –P.221-227.
249. Cui, W., Kenaschuk E., Mazza G. Flaxseed gum: Genotype, chemical structure and rheological properties // *Proceedings of the 55th Flax institute of United States, Fargo, ND; Flax institute of United States.* - 1994. - P.166-177.
250. Cui, W., Mazza G. Physicochemical characteristics of flaxseed gum // *Food Research Int.* - 1996. – V.29. - P. 397-402.
251. Cui, W., Mazza G., Biliaderis C. G. Chemical structure, molecular size distributions, and rheological properties of flaxseed gum // *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* - 1994.- V.42(9). - P.1891-1895.
252. Czarnecki, S.K., Krichevsky D. Dietary protein and atherosclerosis / in *Dietary Proteins: How They Alleviate Disease and Promote Better Health*, ed by Liepa G.U., Bietz D.C., Gorman M.A. – Am. Oil Chem.Soc., Champaign IL. – 1992. – P.42-56.
253. Davani-Davari, D., Negahdaripour M., Karimzadeh J., Seifan M., Mohkam M., Masoumi S.J., Berenjian A., Ghasemi Y. Prebiotics: definition, types, sources, mechanisms and clinical applications. Review. // *Foods.* - 2019. - V. 8(3). - P.92. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>
254. De Lorgeril, M., Salen P., Laporte F., De Leiris J. Alpha-linolenic acid in the prevention and treatment of coronary heart disease // *European Heart Journal Supplements.* – 2001. – V. 3. – P. 26-32.
255. Demark-Wahnefried, W., Polascik, T.J., George, S.L. Flaxseed supplementation (not dietary fat restriction) reduces prostate cancer proliferation rates in men presurgery // *Cancer Epidemiology Biomarkers & prevention.* – 2008. – V. - 17(12). – P. 3577-3587.
256. DeSimone, J.M., Polley J.D. The carbone dioxide technology platform: from surfactans to microelectronics // *Proceeding of the 8-th Meeting on supercritical fluids.* T.1 – University Bordeaux 1. – 2002.
257. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. – Rome: FAO, 2013 – 66 p. Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>
258. Ding, H.H., Cui S.W., Goff H.D., Wang Q., Chen J., Han N.F. Soluble polysaccharides from flaxseed kernel as a new source of dietary fibres: Extraction and

physicochemical characterization // Food Research International.-2014.-V.56.-Iss.2-P.166-173.

259. Dominiak, M. Application of enzymes for efficient extraction, modification, and development of functional properties of lime pectine / M. Dominiak, K.M. Søndergaard, J. Wichmann, S. Vidal-Melgosa, W.G.T. Willats, A.S. Meyer, J.D. Mikkelsen // Food Hydrocolloids. – 2014. – V.40. – P. 273-282.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.fodhyd.2014.03.009>

260. El-Din A. Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities / A. El-Din, A. Bekhit, A. Shavandi, T. Jodjaja, J. Birch, S. Teh, I. A. M. Ahmed, F. Y. Al-Juhaimi, P. Saeedi, A. A. Bekhit// Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. -2018.- V.13.- P.129-152. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.11.017>

261. Emaga, T.H. Kinetics of the hydrolysis of polysaccharide galacturonic acid and neutral sugars chains from flaxseed mucilage / T.H. Emaga, N. Rabetafika, C.S. Blecker //Biotechnol. Agron. Soc. Environ. -2012.- V.16(2). -P.139-147.

262. Engberg, RM, Jakobsen, K, Hartfill, W. The biological activity of natural source tocopherols in pigs fed on a linoleic acid rich die // Fat Science Technology. – 1993. – V. 95. – P. 537-542.

263. Englyst, K. N., Liu S., Englyst H.N. Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates // Eur. J Clin. Nutr. - 2007. – V. 61 Supp. 1 1. - P. 19-39.

264. Farran, A. Green solvents in carbohydrate chemistry: from raw materials to fine chemicals /A. Farran, C. Cai, M. Sandoval, Xu Y., Liu J., Hernáiz M.J., Linhardt R. // Chem. Rev. – 2015. – V. 115(14). - P.6811-6853.

265. Fekri, N. Khayami M., Heidari R., Jamee R. Chemical analysis of flaxseed, sweet basil, dragon head and quince seed mucilages // Research Journal of Biochemical Sciences.-2008.-V.3.-Iss.2.-P.166-170.

266. Feng, D. Effectiveness of different processing method in reducing hydrogen cyanide content of flaxseed /D. Feng, Y. Shen, E.R. Chavez // J. Science of Food and Agriculture. – 2003.-V.83.-is.8.-P.836-841. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1412>

267. Fetisova, A.N. Vegetable CO₂- extracts qualitative and quantitative characteristics / A.N. Fetisova // Proceeding of 8-th International Congress “Phytopharm 2004”. – Mikkeli, Finland. – 2004.

268. Flamm, G. Inulin and oligo-fructose as dietary fiber: a review of the evidence / G. Flamm, W. Glinsman, D. Kritchevsky, L. Prosky, M. Roberfroid // Crit. Rev. in Food Science and Nutrition. – 2001. – V.43.- P.353-362.

269. Flax Council of Canada. Winnipeg, MB. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://flaxcouncil.ca/> (дата обращения 03.03.2021).

270. Flaxseed in Human Nutrition/ by eds Cunnane S., Thompson L.U.- Champaign, IL.- AOCS Press.- 1995.- PP. 244-260.

271. Florowska, A.L., Krygler K., Florowski T. et al. Prebiotics as functional food ingredients preventing diet-related diseases // *Food Funct.* - 2016. - V. 7. - N 5. - P. 2147-2155. <https://doi.org/10.1039/c5fo01459j>.
272. Gambus, H., Gambus F., Pastuszka D., (2009). Quality of gluten-free supplemented cakes and biscuits// *Int. J. Food Sci. Nutr.* – 2009. – V. 60. – P. 31-50.
273. Ganorkar, P.M. Flaxseed – a nutritional punch. Mini Review / P.M. Ganorkar, R.K. Jain // *Int. Food Res.J.* – 2013. – V.20. – N2. – P.519-525.
274. Gebauer, SK, Psota TL, Harris WS, Kris-Etherton PM. n-3 fatty acid dietary recommendations and food sources to achieve essentiality and cardiovascular benefits // *Am J Clin Nutr.* – 2006. – V. 83. – P. 1526S–1535S.
275. Gerzhova, A. A comparative study between the electro-activation technique and conventional extraction method on the extractability, composition and physicochemical properties of canola protein concentrates and isolates / A. Gerzhova, M. Mondor, M. Benali, M. Aider // *Food Bioscience.* – 2015. – V.11. – P. 56-71.
276. Gerzhova, A. Study of total dry matter and protein extraction from canola meal as affected by the pH, salt addition and use of zeta-potential/turbidimetry analysis to optimize the extraction conditions / A. Gerzhova, M. Mondor, M. Benali, M. Aider // *Food Chemistry.* – 2016.- V.201. P.243-252.
277. Ghodsvali, A., Preparation of canola protein materials using membrane technology and evaluation of meals functional propertie/ A. Ghodsvali, M.H.H. Khodaparast, M. Vosoughi, L.L. Diosady // *Food Res. Int.* – 2005. – V. 38. – P. 223–231.
278. Gibson, G.R., Scott K.P., Rastall R.A. et al. Dietary prebiotics: current status and new definition // *Food Sci. Technol. Bull. Funct. Foods.* - 2010. - V. 7. - P. 1-19.
279. Gogus, U. & Smith, C. (2010). n-3 Omega fatty acids: a review of current knowledge // *Int J Food Sci Technol.* – 2010. – V.45.- P. 417–436.
280. Goh, KKT, Ye A, Dale N. (2006). Characterisation of ice cream containing flaxseed oil // *Intl J Food Sci Technol.* – 2006. – V. 41. – P. 946–953.
281. Goyal, A., Sharma V., Upadhyay N., Gill S., Sihag M. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food // *J Food Sci Technol.* – 2014. – V. 51(9).- P. 1633–1653. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>
282. Green, B.E., Milanova R., Logie J. Process for preparation of flax protein isolate. World Patent WO 2005/012342 A1.
283. Ground flaxseed – How much can we and our companion animals safely eat? Tuesday, August 27, 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.nutraceuticalalliance.ca/post/ground-flaxseed-how-much-can-we-and-our-companion-animals-safely-eat>. - (дата обращения: 03.03.2021).
284. Guimaraes, RDCA, Macedo, MLR, Munhoz, CL, Filiu, W., Viana, LH, Nozaki, VT, Hiane, PA. (2013). Sesame and flaxseed oil: nutritional quality and effects on serum lipids and glucose in rats // *Food Sci Technol. (Campinas).* – 2013. – V. 33(1). – P. 209–217.

285. Gutiérrez, C., Rubilar M., Jara C., Verdugo M., Sineiro J., Shene C. Flaxseed and flaxseed cake as a source of compounds for food industry // *J. Soil Sci. Plant Nutr.* - 2010. - N 10. - P. 454–463.
286. Gutte, K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits // *Int. J. Pharm. Sci. Res.* - 2015. - N 9. - P. 42-51.
www.globalresearchonline.net (дата обращения 08.08.2018).
287. Hadnađev, M.S. Progress in vegetable proteins isolation techniques: a review / M.S. Hadnađev, T.R.D. Hadnađev, M.M. Pojić, B.M. Sarić, A. Ć. Mišan, P.T. Jovanov, M.B. Sakač // *Food and Feed Research.* – 2017.- V.44(1). – P.11-21.
<https://doi.org/10.5937/FFR1701011H>
288. Hao, M. & Beta, T. (2012). Development of Chinese steamed bread enriched in bioactive compounds from barley hull and flaxseed hull extracts// *Food Chem.* – 2012/ - V. 133. – P. 1320–1325. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.008>.
289. Haque, M.A., Aldred P., Chen J., Barrow C.J., Adhikari B. Comparative study of denaturation of whey protein isolate (WPI) in convective air drying and isothermal heat treatment processes // *Food Chemistry.* - 2013. - 141(2). - P.702-711.
290. Haque, M.K. Total cyanide determination of plants and foods using the picrate and acid hydrolysis methods/ Haque M.K., Bradbury J.H.// *Food Chem.*-2002.-V.77.- P. 107-114.
291. Hassan, A.A., Rasmy N.M, Foda M.I., Bahgaat, WK. (2012). Production of functional biscuits for lowering blood lipids // *World J Dairy Food Sci.* – 2012. – V.7. - P.1–20.
292. Ho, C.H. Extraction of lignans, proteins and carbohydrates from flaxseed meal with pressurized low polarity water / C.H. Ho, J. E. Cacace, G. Mazza // *LWT-Food Science and Technology.* – 2007. – V.40 (9). – P. 1637-1647.
293. Horax, R., Heltiarachchy N.S., Chen P., Jalaluddin M. Preparation and characterization of protein isolate from cowpea (*Vigna unguiculata* L. Wolp.) // *J. of Food Science.* -2004.- 69(2).- P.114-118.
294. Hu, X. T., Liu C. M., Jin Z. Y., Tian Y. Q. Preparative fractionation of dextrin by gradient alcohol precipitation // *Separation Science and Technology.* - 2017.- V 52.- P. 2704–2714.
295. Hu, Y., Hall, C., Wolf-Hall, C. (2008). Antifungal activity stability of flaxseed protein extract using response surface methodology// *J. Food Sci.* – 2008. – V. 73 (1). – P. M9-14.
296. Hurteau, MC. Unique new food products contain good omega fats// *Journal of Food Science Education.* – 2004. – V. 3(4). – P. 52-53.
297. Hussain, S, Anjum FM, Butt MS, Khan MI, Asghar A. Physical and sensoric attributes of flaxseed flour supplemented cookies // *Turk J. Biol.*- 2006.-V.30.-P. 87–92.

298. Hussain, S, Anjum FM, Butt MS, Sheikh MA. Chemical composition and functional properties of flaxseed (*Linum usitatissimum*) flour // Sarhad J.Agric. -2008.- V.24(4). - P. 649–653.
299. Hyvarinen, HK, Pihlava, J-M., Hiidenhovi, JA. Effect of processing and storage on the stability of flaxseed lignan added to dairy products// J Agric Food Chem. – 2006. – V. 54. -P. 8788–8792. <http://dx.doi.org/10.1021/jf061285n>.
300. Imran, M., Ahmad, N., Anjum, FM. Potential protective properties of flax lignan secoisolariciresinol diglucoside// Nutr.J. – 2015. – V. 14. – P. 71-79.
301. Ivanov, S, Rashevskaya, T, Makhonina, M. Flaxseed additive application in dairy products production// Procedia Food Sci. – 2011. – V. 1.- P. 275–280.
302. Jian, H. L., Lin X. J., Zhang W. A., Zhang W. M., Sun D. F., Jiang J. X. Characterization of fractional precipitation behavior of galactomannan gums with ethanol and isopropanol // Food Hydrocolloids. – 2014. – V. 40. – P. 115–121.
303. Jin, M. Isolation, structure and bioactivities of the polysaccharides from *Angelicasinensis* (Oliv.) Diels: A review / M. Jin, K. Zhao, Q. Huang, C. Xu, P. Shang // Carbohydrate Polymers. – 2012.- V. 89. –P.713– 722.
304. Johnsson, A., Kamal-Eldin, A., Lundoren, L.N., Aman, P. (2000). HPLC method for analysis of secoisolariciresinol diolucoside in flaxseeds// J. Agric. Food Chem. – 2000. – V. 48. – P. 5216-5219.
305. Jung, S., Aqueous extraction of oil and protein from soybean and lupin: A comparative study // J. Food Process. Preserv. – 2009. – V. 33. – P. 547– 559.
306. Kadivar, M. Studies on integrated processes for the recovery of mucilage, hull, oil and protein from solin (low linolenic acid flax) / M. Kadivar. - Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy. – Canada. – Saskatchewan. – 2001.
307. Kaewmanee, T., Bagnasco L., Benjakul S., Lanteri S. Morelli C. F., Speranza G., Cosulich, M. E. Characterisation of mucilages extracted from seven Italian cultivars of flax// Food Chemistry. - 2014.- V.148.- P. 60–69.
308. Kajla, P., Sharma A., Sood D.R. Flaxseed—a potential functional food source // J Food Sci Technol. - 2015.- 52(4). - P. 1857–1871.
309. Karaca, A.C., Low N., Nickerson M. Emulsifying properties of canola and flaxseed protein isolates produced by isoelectric precipitation and salt extraction // Food Research International. - 2011.- V44. Is 9. - P. 2991-2998.
310. Karamać, M., Kosińska-Cagnazzo A., Kulczyk A. Use of different proteases to obtain flaxseed protein hydrolysates with antioxidant activity // Int. J. Mol. Sci. - 2016. - N17. - P.1027.
311. Kaushik, P., Dowling K., McKnight S., Barrow C., Wang B., Adhikari B. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate / Food Chemistry. 2016. -197. – P. 212-220. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.106>

312. Kaushik, P., Dowling, K., Adhikari, R., Barrow, C. J., & Adhikari, B. Effect of extraction temperature on composition, structure, and functional properties of flaxseed gum // *Food Chemistry*. - 2017.- V.215.- P. 333–340.
313. Ke-Ying Qian. Structure-Function Relationship of Flaxseed Gum from Flaxseed Hulls/ A Thesis Presented to The University of Guelph In partial fulfilment of requirements for the degree of Doctor of Philosophy In Food Science Guelph, Ontario, Canada. - 2014. - 107p.
314. Kelvin K.T., Goh D.N., Christopher E.H. Rheological and Light Scattering Properties of Flaxseed Polysaccharide Aqueous Solutions // *Biomacromolecules*. - 2006. - № 7. - P. 3098-3103.
315. Khattab, R, Zeitoun, M, Barbary, OM. (2012). Evaluation of pita bread fortified with defatted flaxseed flour// *Curr Nutr Food Sci CNF*. – 2012. – V. 8. – P. 91–101. <http://dx.doi.org/10.2174/157340112800840790>.
316. Khouryieh, H. & Aramouni, F. Physical and sensory characteristics of cookies prepared with flaxseed flour // *J Sci Food Agric*. – 2012. – V. 92. – P. 2366–2372. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5642>.
317. Kishk, Y.E.M. Optimization of isolation flaxseed mucilage from methanolic extract and its functional characteristics // *J. Food and Dairy Sci., Mansoura Univ*. – 2013. - V.4. - no10. - P.539-556.
318. Kishk, YMK, Elsheshetawy, HE, Mahmoud, EA. Influence of isolated flaxseed mucilage as a non-starch polysaccharide on noodle quality // *Int. J. Food Sci*. – 2011. – V. 46. – P. 661-668.
319. Kolotov A. P. Economic efficiency of cultivation of oil flax in the middle Urals. *APK Rossii. [Agrarian and industrial complex of Russia]*.- 2015.- T. 72.- N 2.- P. 135-140.
320. Koppelman S.J., Nieuwenhuizen W.E., Gaspari M., Knippels L.M., Pennnks A.H., Knol E.F. Reversible denaturation of Brazil nut 2S albumin (Ber e1) and implication of structural destabilization on digestion by pepsin // *J. of Agricultural and Food Chemistry*. - 2005.- V.53(1). - P.123-131.
321. Korkina, L., Kostyu, KV., Luca, C. et. al. Plant phenolylpropanoids as emerging anti-inflammatory agents. *Mini-Rev. //Med. Chem*. – 2011. – V.11. – P. 823-835.
322. Krimm, S., Bandekar J. Vibrational spectroscopy and conformation of peptides, polypeptides, and proteins // *Advances in protein chemistry*. - 1986. - T.38. - C.181-364.
323. Ku, Y. Precipitation of inulins and oligoglucoses by ethanoland other solvents /Y. Ku, O. Jansen, C. J. Oles, E. Z. Lazar, J. I. Rader // *Food Chemistry*. - 2003.- 81.-P.125-132.
324. Kuhn, K.R., Cavallieri A.L.F., Lopes da Cunha R. Rheological properties of flaxseed gum solutions with NaCL or CaCL₂ addition [Электронный ресурс]. - URL: [http:// www.icef11.org/content/papers/epf/EPF460.pdf](http://www.icef11.org/content/papers/epf/EPF460.pdf) (дата обращения 07.06.2016).

325. Kuhn, K.R., Netto F.M., Cunha R.L.D. Assessing the potential of flaxseed protein as an emulsifier combined with whey protein isolate // *Food Research International*. - 2014.- N58.- P.89-97.
326. Kurek, M. A., Karp, S., Stelmasiak, A., Pieczykolan, E., Juszczak, K., & Rieder, A. Effect of natural flocculants on purity and properties of β -glucan extracted from barley and oat // *Carbohydrate Polymers*. – 2018.- V.188. – P. 60–67. <http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.090>
327. Lee, RE, Manthey FA, Iii CAH. Content and stability of hexane extractable lipid at various steps of producing macaroni containing ground flaxseed // *J Food Process Preserv*. – 2004. – V. 28. – P. 133– 144.
328. Li, Y. O., & Komarek, A. R. Dietary fibre basics: Health, nutrition, analysis, and applications// *Food Quality and Safety*. – 2017. – V. 1(1). – P. 47–59. <http://doi.org/10.1093/fqs/fyx007>
329. Lipilina, E, Ganji, V. Incorporation of ground flaxseed into bakery products and its effect on sensory and nutritional characteristics– a pilot study// *J Food Serv*. – 2009. – V. 20. – P. 52–59. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-0159.2008.00124.x>.
330. Liu, J., Shim, Y. Y., Tse T., Wang Y., Reaney M. J. T. Flaxseed gum a versatile natural hydrocolloid for food and non-food applications // *Trends in Food Science & Technology*. – 2018. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.011>
331. Lunn, J., Theobald H.E. The health effects of dietary unsaturated fatty acids // *Nutrition Bulletin*. – 2006. -V. 31(3). – P. 178-224. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-3010.2006.00571.x>
332. Madusudhan, K.T. and Singh N. J. Isolation and characterization of the major fraction (12S) of linseed proteins // *J. Agric. Food Chem*. -1985.- V. 33. - P.673-677.
333. Madusudhan, K.T. and Singh, N. Studies on linseed proteins // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. - 1983.- V. 31 (5). - P. 959–963.
334. Madusudhan, K.T., Singh, N. Isolation and characterization of a small molecular weight protein of linseed meal // *Phytochemistry*. - 1985.- V.24.- P.2507-2509.
335. Malomo, S.A., He R., Aluko R.E. Structural and functional properties of hemp seed protein products // *Journal of Food Science*. -2014.-V.79.-No.8.- P.1512-1521. <https://doi.org/10.1111/1750.3841.12537>.
336. Mandala, I. Phase and rheological behaviors of xantan/amylase and xantan/starch mixed systems/ I. Mandala, C. Michon, B. Launay // *Carbohydrate Polymers*. - 2004.- Vol.58-N3-P.285-292.
337. Manthey, F. A., Sinha S., Wolf-Hall C.E., Hall C.A. Effect of flaxseed flour and packaging on shelf life of refrigerated pasta// *J Food Process Preserv*. – 2008. – V. 32. – P. 75–87.

338. Maramde, P.W., Shond P.J., Wanasundara J. P. D. An in-vitro investigation of selected biological activities of hydrolysed flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) protein // J. Am. Oil Chemists Society. - 2008.- V.85(12).-P.1155-1164.
339. Marcone, M. F., Kakuda Y., Yada R.Y. Salt-soluble seed globulins of dicotyleonous and monocotyledonous plants. II. Structural characterization // Food Chemistry. - 1998. – V.63 (2). – P. 265–274.
340. Marić, M. An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction / M. Marić, Grassino A.N., Z. Zhu, F.J. Barba, M. Brnčić, S.R. Brnčić // Trends in food science & technology. – 2018.- V.76. – P. 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.022>
341. Marleau, R., Ulrich A. Generating a Profit from Oilseed Flax Straw [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://www.usask.ca/soilscrops/conference-proceedings/previous_years/files/2004docs/023pdf
342. Marpalle, P., Sonawane S.K., Arya S.S. Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread // LWT, Food Sci Technol. – 2014. – V. 58. – P. 614–619.
343. Martinez-Flores, H.E., Soto E.B., Garnica-Romo M.G., Saldaña A.L., Penagos C.J.C. Chemical and Functional Properties of Flaxseed Protein Concentrate obtained using Surface Response Methodology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.enpromer2005.eq.ufrj.br
344. Mazur, W. Naturally occurring estrogens in food / W. Mazur, H. Adlercreutz // Pure and Applied. Chemistry. – 1998. – V. 70. – P. 1759-1776.
345. Mazza, G., Biliaderis C. G. Functional properties of flax seed mucilage //Journal of Food Scienc. - 1989.- V.54(5). - P. 1302-1305.
346. McCullough, R. S, Edel A. L., Bassett C.M.C., LaVallee, RK, Dibrov, E, Blackwood, DP, Ander, BP, Pierce, GN. (2011). The alpha linolenic acid content of flaxseed is associated with an induction of adipose leptin expression// Lipids. - 2011. – V. 46. – P. 1043–1052.
347. Menten, O., Bakalbassi, E, Ercan, R. Effect of the use of ground flaxseed on quality and chemical composition of bread // Food Sci Technol Int. – 2008. – V. 14. – P. 299–306. <http://dx.doi.org/10.1177/1082013208097192>.
348. Mesquita, CDB, Leonel M, Mischan MM. Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour // Food Sci Technol (Campinas). – 2013. – V. 33. – P. 404–410.
349. Moczowska, M., Karp S., Niu Y., Kurek M.A. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed – A physicochemical approach // Food Hydrocolloids. - 2019. - V.90. - P.105-112. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.018>

350. Moller, NP, Scholz-Ahrens, KE, Ross, N, Schrezenmeir, J. Bioactive peptides and proteins from foods: indication for health effects// Eur J. Nut. – 2008. – V. 47. – P. 171-182.
351. Moraes, EA, Dantas, MIDS, Morais, DDC, et al. Sensory evaluation and nutritional value of cakes prepared with whole flaxseed flour // Food Sci Technol (Campinas). – 2010. – V. 30. -P. 974–979.
352. Morris, DH. (2007). Flax—a health and nutrition primer, (4th edn.) Available from: <https://flaxcouncil.ca/resources/nutrition/technical-nutrition-information/flax-a-health-and-nutrition-primer/>
353. Moure, A. Functionality of oilseed protein products: a review / A. Moure, J. Sineiro, H. Domínguez, J.C. Parajó // Food Research International. – 2006. -V.39 (9). – P. 945-963.
354. Muller K., Eisner P., Kirchhoff E. Simplified fractionation process for linseed meal by alkaline extraction – functional properties of protein and fiber fractions // J. Food Engineering. – 2010.- V.99. – Iss.1.- P.49-54.
355. Muller K., Eisner P., Yoshie-Stark Y., Nakada R., Kirchhoff E. Functional properties and chemical composition of fractionated brown and yellow linseed meal (*Linum usitatissimum* L.) // J. Food Engineering. - 2010.- V.98.-P.453-460.
356. Mune, M.A.M. Response surface methodology for optimisation of protein concentrate preparation from cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] / M.A.M. Mune, S.R. Minka, I. L. Mbome // Food Chemistry. – 2008. – V.110. – P. 735–741.
357. Nitkins R.W., Krumbeck J.A., Bindels L.B. Prebiotics: why definitions matter // Curr. Opin. Biotechnol.- 2016. -V. 37.- P.1-7.
358. Nykter, M.; Kymäläinen, H.R., Quality characteristics of edible linseed oil // Agricultural and Food Science. - 2006. – V.15. - P. 402-413.
359. Oomah, B.D. and Mazza, G. Flaxseed proteins—a review // Food Chemistry.- 1993. - 48 (2). – P.109–114
360. Oomah, B.D. and Mazza, G. Functional properties and uses of flaxseed protein // Inform. - 1995. - V. 6 (11). - P. 1246-1252. [Электронный ресурс].- <http://www.flaxcouncil.ca/abstract/functional-properties-uses-of-flaxseed-protein/>
361. Oomah, B.D. Flaxseed as a functional food source / B.D. Oomah// J.Sci.Food and Agr. – 2001. – V.81.- Is.9.- P.889-894.
362. Oomah, B.D., Kenaschuk, E.O., Mazza, G. Phytic acid content of flaxseed as influenced by cultivar, growing season, and location// J. Agric. Food Chem.- 1996. – V. 44.- P. 2663-2666.
363. Oomah, B.D., Mazza, G. (Ed). Flaxseed Products for disease prevention in Functional foods: Biochemical & Processing Aspects. - CRC Press, 1998. - 480p.

364. Patil, SS, Sheety, VS, Todkar, AP, Bodhankar, HB. (2013). Effect of incorporation of flaxseed flour on the nutritional and sensorial quality of biscuit // *Food Sci Res J.* – 2013. – V. 4. – P. 20–23.
365. Pavlov, A., Paynel F., Rihoney C., Porokhovina E., Bruteh N., Morvan C. Variability of seed traits and properties of soluble mucilages in lines of the flax genetic collection of Vavilov Institute // *Plant Physiology and Biochemistry.* – 2014. – V. 80. – P. 348-361.
366. Pojić, M. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin/ M. Pojić, A. Mišan, B. Tiwari // *Trends in Food Science & Technology.* – 2018. – V.75. – P.93-104. <https://doi.org/10.1016/j.tifs2018.03.010>
367. Qian, K. Y., Cui, S. W., Wu, Y., & Goff, H. D. Flaxseed gum from flaxseed hulls: Extraction, fractionation, and characterization// *Food Hydrocolloids.* – 2012. – V. 28(2). – P. 275–283. <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.019>
368. Rabetafika, H.N., Van Remoortel, V., Danthine, S., Paquot, M., Blecker, C. Flaxseed proteins: Food uses and health benefits/ *Int. J. Food Sci. Technol.*- 2011. – V. 46. – P. 221–228.
369. Radošević, K. Natural deep eutectic solvents as beneficial extractants for enhancement of plant extracts bioactivity. / K. Radošević, N. Curko, V. Gaurina Srček, M. Cvjetko Bubalo, M. Tomašević, K. Kovačević Ganić, I. Radojčić Redovniković, // *LWT Food Sci. Technol.*- 2016. – V.73. – P.45–51.
370. Rahman M.S., Al-Saidi G.S., Guizani N. Thermal characterization of gelatin extracted from yellowfin tuna skin and commercial mammalian gelatin // *Food Chemistry.* - 2008.-108(2).-P.472-481.
371. Rajiv, J, Indrani, D, Prabhasankar, P, Rao, GV. Rheology, fatty acid profile and storage characteristics of cookies as influenced by flax seed (*Linum usitatissimum*) // *J Food Sci Technol.* – 2011. – V. 49. – P. 587–593. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-011-0307-2>.
372. Ramcharitar, A, Badrie, N, Mattfeldt-Beman, M, et al. Consumer acceptability of muffins with flaxseed (*Linum usitatissimum*)// *J Food Sci.* – 2005. -V.70(7). – P. s504-s507. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11499.x>.
373. Rangrej, V, Shah, V, Patel, J, Ganorkar, PM. Effect of shortening replacement with flaxseed oil on physical, sensory, fatty acid and storage characteristics of cookies // *J Food Sci Technol.* – 2014. -V. 52(6). – P. 3694-3700. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-014-1430-7>
374. Rathi, P, Mogra, R. Development and sensory evaluation of superior products with flaxseed// *Int J Food Sci Nutri.* – 2012. – V. 2. – P. 12–15.
375. Resconi, V.C., Keenan D.F., Gough S., Doran L., Allen P., Kerry J.P., Hamil R.M. Starh and fibre in whole-muscle cooked ham: yield, microstructure and sensory

- discrimination // Proceedings of the 59th International Congress of Meat Science and Technology. - Turkey, 2013.- P. 037.
376. Riediger, ND, Othman, R, Fitz, E, Pierce, GN, Suh, M, Moghadasian, MH. Low n6:n3 fatty acid ratio, with fish or flaxseed oil, in high fat diet improves plasma lipids and beneficially alters tissue fatty acid composition in mice // European Journal of Nutrition. – 2009. -V. 47. – P. 153–160.
377. Roberfroid M.B. Global view on functional foods: European perspectives // British J. Nutrition. -2002.-V.88.- Suppl.2. –P.133-138.
378. Roberfroid M.B. Prebiotics: the concept revisited // J. Nutr. 2007. V. 137. N 3. P.830S-837S. <https://doi.org/10.1093/jn/137.3.830S>.
379. Rodríguez-Ambriz, S.L. Composition and functional properties of *Lupinus campestris* protein isolates/ S.L. Rodríguez-Ambriz, A.L. Martínez-Ayala, F. Millán, G. Davila-Ortiz // Plant Foods for Human Nutrition. - 2005.- V.- 60 (3). - P.99-107.
380. Rosenthal, A. Combined effect of operational variables and enzyme activity on aqueous enzymatic extraction of oil and protein from soybean / A. Rosenthal, D.L. Pyle, K. Niranjana, S. Gilmour, L. Trinca // Enzyme and Microbial Technology. – 2001. – V. 28 (6). - P. 499-509.
381. Rubilar, M., Gutierrez C., Verdugo M., Shene C. Flaxseed as a source of functional ingredients// J. soil sci. plant nutr. – 2010. – V. 10(3). – P. 373-377.
382. Russo, R. Variation in the Content of Cyanogenic Glycosides in Flaxseed Meal from Twenty-one Varieties / R. Russo, R. Reggiani // Food and Nutrition Sciences. – 2014. - N 5. – P. 1456-1462. <http://www.scirp.org/journal/fns>
383. Sahoo A. K., Rahul C. R. Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits // International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research.- 2015. -V.31. Is1. - P. 42-51.
384. Sakagami, Ii., Komatsu, N., Simpson, A., Nonoyama, M., Konno, K. et al. (1991). Antinumor, antiviral and immunopotentiating activities of pine cone extracts: Potential medicinal efficacy of natural and synthetic lignin-related materials (review) // Anticancer Res. – 1991. – V. 11. – P. 881-888.
385. Salgado, P. R., Production and characterization of sunflower (*Helianthus annuus* L.) protein-enriched products obtained at pilot plant scale /P.R. Salgado, S.R. Drago, S.E. Molina Ortiz, S. Petrucci et al. // LWT Food Sci. Technol. – 2012. – V. 45. – P. 65–72.
386. Sammour, R.H., El-Shourbagy M.N., Abo-Shady A.M., Abasary A.M. The seed proteins of linseed (*Linum usitatissimum* L.)// Bot.Bul.Acad.Sin. - 1994.- V.35. - P.171-177.
387. Sari, V.W. Towards plant protein refinery: Review on protein extraction using alkali and potential enzymatic assistance / V.W. Sari, W.J. Mulders, J.P.M. Sanders, M.E. Bruins // Biotechnol. J. – 2015. – V.10. – P.1138-1157.

388. Sari, Y. W., Enzyme assisted protein extraction from rapeseed, soybean, and microalgae meals/ Y. Sari, M.E. Bruins, J.P.M. Sanders // *Ind. Crops Prod.*- 2013.- V.- 43. P. 78–83.
389. Scientific Concepts of Functional Foods in Europe. Consensus Document // *British J. Nutrition.* - 1999.-V.81.- Suppl.1. –P.1-27.
390. Selomulio, V.O. Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers / V.O. Selomulio, W. Zhou // *J. of Cereal Science.* – 2007. – N 45. P. 1-17.
391. Shabbira M. A., Khana M. R., Shehzada A., Dinb A., Khana M. I., Hussain B. Flaxseed segregations as an imperative tool for its nutraceutical implication/ M. A. Shabbira, // *PAK. J. FOOD SCI.* - 2014. -V. 24. Is2.- P. 64-74.
392. Shalini, K.G. Influence of additives on rheological characteristics of whole-wheat dough and quality of Chapatti (Indian unleavened Flat bread) Part I – hydrocolloids / K.G. Shalini, A. Laxmi // *Food Hydrocolloids.* - 2007.- N 21.- P. 110-117.
<https://10.1016/j.foodhyd.2006.03.002>
393. Shearer, AE. & Davies, CG. (2005). Physicochemical properties of freshly baked and stored whole-wheat muffins with and without flaxseed meal// *J Food Qual.* – 2005. – V. 28. – P. 137–153. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4557.2005.00004.x>.
394. Shen, P. The impact of hempseed dehulling on chemical composition, structure properties and aromatic profile of hemp protein isolate / P. Shen, Z. Gao, M. Xu, J-B Ohm, J. Rao, B. Chen // *Food Hydrocolloids.* – 2020. – V. 106.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105889>
395. Shim, Y.Y., Gui Bo, Arnison P.G., Wang Y., Reaney M.J.T. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review // *Trends in Food Science & Technology.* - 2014.- V.38.-Is.1.-P.5-20.
396. Shripad S. Isolation of mucilage from flaxseeds and its use as a binder in manufacturing of tablet / Shripad S. Shirke etc. // *Int. J. of Pharmaceutical Research and Development (IJPRD).* – 2012. – Vol.4 (409). – P. 64-69
397. Simopoulos, AP. (2000), Human requirement for omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Poul Sci.*, 79, 961–970.
398. Singer F.A.W., Taha F.S., Mohamed S.S., Gibriel A., El-Nawawy M. Preparation of Mucilage/Protein Products from Flaxseed // *American Journal of Food Technology.* 2011. N6. P. 260-278. <https://10.3923/ajft.2011.260-278>.
399. Singh K.K., Mridula D., Rehal J., Barnwal P. (2011). Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber. *Criti Rev Food Sci Nutr.* 51, 210-222.
400. Sinha S, Manthey FA. (2008). Semolina and hydration level during extrusion affect quality of fresh pasta containing flaxseed flour. *J Food Process Preserv.* 32, 546–559.
401. Slavin J. Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits // *Nutrients.* - 2013.- V. 5.- N 4.- P. 1417-1435. <http://doi.org/10.3390/nu5041417>

402. Stefan, H. M. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates / J. J. R. Gorissen, J. M. G. Crombag, W. A. H. W. Senden et al. // *Amino Acids*. – 2018. – V. 50. – P. 685–1695. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2640-5>
403. Stegeman, D. Technologie en grondstoffen voor vleesvervangers en hoogwaardige eiwitten (No. 1179) / D. Stegeman, A.M. Janssen, J.P. F.G. Helsper, I.M. Van der Meer, H.R.J. Van Kernebeek // Wageningen UR Food & Biobased Research. – 2010.
404. Stewart, S. & Mazza, G. (2000). Effect of flaxseed gum on quality and stability of a model salad dressing. *J. Food Qual.*, 23, 373-390.
405. Sudha, ML, Begum, K, Ramasarma, PR. (2010). Nutritional characteristics of linseed/flaxseed (*Linum usitatissimum*) and its application in muffin making. *J Texture Stud*, 41, 563–578. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4603.2010.00242.x>.
406. Sun J., Li X., Xu X., Zhou G. Influence of Various Levels of Flaxseed Gum Addition on the Water-Holding Capacities of Heat-Induced Porcine Myofibrillar Protein // *Journal of Food Science*. - 2011. -V.76. Is.3.- P.472-478.
407. Suzuki, R., Rylander-Rudqvist, T., Sajis, S., Bergkvist, L., Adlercreutz, H., Wolk, A. (2008). Dietary lignans and postmenopausal breast cancer risk by oestrogen receptor status: a prospective cohort study of Swedish women. *Br. J. Cancer.*, 98(3), 636-640.
408. Tang C.H., Ten Z., Wang X.S., Yang X.Q. Physicochemical and functional properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolate // *J. of Agricultural and Food Chemistry*.-2006.- 54(23).-P.8945-8950.
409. Teh S.S. Effect of the defatting process, acid and alkali extraction on the physicochemical and functional properties of hemp, flax and canola seedcake protein isolates / S.S. Teh, A. E-D. Bekhit, A. Carne, J. Birch // *Food Measure*. – 2014. – V.8 – P.92-104. <https://doi.org/10.1007/s11694-013-9168-x>
410. Thompson, L.U. and Cunnane, S.C. (2003). *Flaxseed in Human Nutrition*, second edition, AOCS Press, Champaign, IL.
411. Todd, R. A techno-economic comparison of subcritical water, supercritical CO₂ and organic solvent extraction of bioactives from grape marc. / R. Todd, S. Baroutian // *J. Clean. Prod.* – 2017. – V.158. – P. 349–358.
412. Torres D.P. Galacto-oligosaccharides: production, properties, applications, and significance as prebiotics // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*- 2010.- N 5. - P. 438-454.
413. Toxicological evaluation of certain food additives and naturally occurring toxicants// WHO Technical report Series N 30. – Geneva, 1993. – 245 p. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41742>
414. Trevisan, AJB, Arêas, JAG. (2011). Development of corn and flaxseed snacks with high-fibre content using response surface methodology (RSM). *Int J Food Sci Nutr*, 63, 362–367.

415. Turabi, E. Optimization of baking of rice cakes in infrared-microwave combination oven by response surface methodology/ E. Turabi, G. Sumnu, S. Sahin // Food and Bioprocess Technology. – 2008.- N 1.-P.64-73.
416. Tzen, J, Cao, Y., Laurent, P., Ratnayake, C. and Huang, A. Lipids, proteins, and structure of seed oil bodies from diverse species // Plant Physiol. – 1993. – V.101. – P. 267-276.
417. U.S. Food and Drug Administration [Электронный ресурс] URL: <https://www.fda.gov> Дата обращения: 22.03.2019г.
418. Udenigwe C.C. Another side of flaxseed proteins and peptides /C.C. Udenigwe, R.E. Aluko // AgroFood industry hi-tech.-2011.-V.22(2).-P. 50-53.
419. Udenigwe, C.C. & Aluko, R.E. (2010). Antioxidant and angiotensin converting enzyme-inhibitory properties of a flaxseed protein-derived high Fischer ratio peptide mixture. *J.Agric.FoodChem*, 58(8),4762–4768 www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20218606
420. US Pat. 5925401 МКИ А23J 1/14 1/00, July 20, 1999. Flax preparation, its use and production /Kankaanpaa-Anttila et al.
421. Vaisay-Genzer M. Flaxseed: Health, Nutrition and Functionality / M. Vaisay-Genzer, D.X. Morris. – Winnipeg, MB, Flax Consil of Canada, 1994.-320p.
422. Verschuren P.M. Functional Foods: Scientific and Global Perspectives (Summary Report) // British J. Nutrition.-2002.-V.88.- Suppl.2. –P.125-130.
423. Wang B., Li D., Wang L.J., Ozkan N. Effect of concentrated flaxseed protein on the stability and rheological properties of soybean oil-in-water emulsions // J. Food Engineering.- 2010.-96(4).- P.555-561.
424. Wang X-S. Characterization, amino acid composition and *in vitro* digestibility of hemp (*Cannabis sativa* L.) proteins / X-S Wang, C-H Tang, X-Q Yang, W-R Gao // Food Chemistry. - 2008.- V.107. – P.11-18.
425. Wang Y., Li D., Wang L.J., Li S.J., Adhikari B. Effects of drying methods on functional properties of flaxseed gum powders // Carbohydrate Polymers. - 2010.- N 81.- P. 128-133.
426. Wang, Y., Wang, L. J., Li, D., Xue, J., Mao, Z. H. Effect of drying methods on rheological properties of flaxseed gum //Carbohydrate polymers.-2009.-V. 78.- Iss.2.- P. 213–219.
427. Warrand J., Michaud P., Miller G., Courtois D., Ralainirina R. Large-scale purification of water-soluble polysaccharides from flaxseed mucilage, and isolation of new anionic polymer // Chromatographia. 2003.V.58.N5-6. P. 331-335.
428. Warrand J., Michaud P., Picton L., Muller G., etc. Structural investigation of neutral polysaccharide of *Linum usitatissimum* L. seed // Int. J. of Biological Macromolecules. - 2005. -Vol.35. -N3-4.- P.121-125.

429. Wasser, S.P. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides // *Applied Microbiology and Biotechnology*.-2002.-60. – P. 258-274.
430. Wu C.-F. An efficient fermentation method for the degradation of cyanogenic glycosides in flaxseed /C.-F. Wu, X.-M. Xu,S.-H. Huang, M.-C.- Deng, A.-J. Feng, J. Peng // *J. Food Additives & Contaminants: Part A*- 2012.-V.-29.-Is.7.-P.1085-1091. <http://dx.doi.org/10.1080/19440049.2012.680202>
431. Wu, M., Li, D., Wang, L.J., Ozkan, N., Mao, ZH. (2010) Rheological properties of extruded dispersions of flaxseed-maize blend. *J. Food Eng.*, 98, 480-491.
432. Xu J. Structural diversity requires individual optimization of ethanol concentration in polysaccharide precipitation / J. Xu, R.-Q. Yue, J. Liu, H.-M. Ho, T. Yi, H.-B. Chen, Q.-B. Han // *Int. J. of Biological Macromolecules*.- 2014.-V. 67. - P. 205-209. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.03.036>.
433. Xu L, Diosady LL (2000) Interactions between canola proteins and phenolic compounds in aqueous media. *Food Res Int* 33(9):725–731
434. Yamashita, T. Development of method to remove cyanogens glycosides from flaxseed meal / T. Yamashita, T. Sano, T.Hashimoto, K. Kanazawa // *Int. J. Food science & Technology*- 2007.- V.42.-N1.-P. 70-75.
435. Yangilar, F. (2013). The application of dietary fibre in food industry: Structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review // *Journal of Food and Nutrition Research*. – 2013. – V. 1(3). – P. 13–23. <http://doi.org/10.12691/jfnr-1-3-1>
436. Youle R.J., Huang A.H.C. Occurrence of low molecular weight and high cysteine containing albumin storage proteins in oilseeds of diverse species // *Am. J. Bot.*- 1981.- V.68.- P.44-48.
437. Yuksel F, Karaman S, Kayacier A. (2014). Enrichment of wheat chips with omega-3 fatty acid by flaxseed addition: Textural and some physicochemical properties. *Food Chem.* 145. 910–917.
438. Zhang W., Xu S., Wang Z., Yang R., Lu R. Demucilaging and dehulling flaxseed with a wet process // *LWT-Food Science*. -2009. -V.42.- Is 6. - P.1193-1198.
439. Zhao, G., Effect of protease pretreatment on the functional properties of protein concentrate from defatted peanut flour / G. Zhao, Y. Liu, J. Ren, M. Zhao, B. Yang // *J. Food Process Eng.* – 2013. – V.36. – P. 9–17.
440. Zhu, K.X. Optimization of ultrasound-assisted extraction of defatted wheat germ proteins by reverse micelles / K.X. Zhu, X.H. Sun, H.M. Zhou // *Journal of Cereal Science*. – 2009. V.50 (2). – P. 266-271.
441. Ziolkovska A. Laws of flaxseed mucilage extraction // *Food Hydrocolloids*. - 2012. -V.26.- is.1.-P. 197-204.

ПРИЛОЖЕНИЯ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2464799

СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ
АКТИВНОСТИ СЕМЯН ЛЬНА

Патентообладатель(ли): *Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт механизации
льноводства Российской академии сельскохозяйственных наук
(ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011130607

Приоритет изобретения 21 июля 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 27 октября 2012 г.

Срок действия патента истекает 21 июля 2031 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 464 799** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A23J 1/14 (2006.01)
A23J 3/14 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2011130607/10, 21.07.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.07.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.07.2011

(45) Опубликовано: 27.10.2012 Бюл. № 30

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2313226 C1, 27.12.2007. RU 2305950
C2, 20.09.2007. МИНЕВИЧ И.Э. Разработка
технологических решений переработки семян
льна для создания функциональных пищевых
продуктов // Автореферат. - М.: 2009.
БЕГЕУЛОВ М.Ш. Основы переработки сои.
- М.: ДеЛи принт, 2006, с.17-23.

Адрес для переписки:

170041, г.Тверь, Комсомольский пр-кт, 17/56,
ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии

(72) Автор(ы):

Миневич Ирина Эдуардовна (RU),
Осипова Лидия Леонидовна (RU),
Зубцов Валерий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский
институт механизации льноводства
Российской академии сельскохозяйственных
наук (ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии)
(RU)

RU 2 464 799 C1

(54) СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ СЕМЯН ЛЬНА

(57) Формула изобретения

Способ снижения ферментативной активности семян льна, включающий очистку семян льна от примесей, пропаривание их водяным паром до влажности 20-25% в течение 15-20 мин, термическую обработку методом ИК-облучения при температуре 120°C в течение 80-90 с, охлаждение до температуры окружающей среды.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2437552

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКА ИЗ ЖМЫХА СЕМЯН
ЛЬНА

Патентообладатель(ли): *Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт механизации
льноводства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ
ВНИИМЛ Россельхозакадемии) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2010128645

Приоритет изобретения 09 июля 2010 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 27 декабря 2011 г.

Срок действия патента истекает 09 июля 2030 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам*



Б.И. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 437 552** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК
A23J 1/14 (2006.01)

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21)(22) Заявка: 2010128645/10, 09.07.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.07.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.07.2010

(45) Опубликовано: 27.12.2011 Бюл. № 36

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2361415 C2, 19.06.2003. RU 2337567
C2, 30.07.2004. ТОЛСТОГУЗОВ В.Б.

Искусственные продукты питания. - М.:

Наука, 1978, с.42-44. ЗУБЦОВ В.А.,

ЛЕБЕДЕВА Т.И., ОСИПОВА Л.Л.,

АНТОНОВА Н.В. Потребительская

ценность семян льна. - Аграрная наука, №10,

2002, с.12-14. МИНКЕВИЧ И.А. Лен

масличный. - М.: государственное

издательство (см. прод.)

Адрес для переписки:

170041, г.Тверь, Комсомольский пр-кт, 17/56,
ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии

(72) Автор(ы):

Миневич Ирина Эдуардовна (RU),

Осипова Лидия Леонидовна (RU),

Зубцов Валерий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение

Всероссийский научно-исследовательский

институт механизации льноводства

Российской академии сельскохозяйственных

наук (ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии)

(RU)

RU 2 437 552 C1

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКА ИЗ ЖМЫХА СЕМЯН ЛЬНА

(57) Формула изобретения

Способ получения белка из жмыха семян льна, включающий измельчение сырья, удаление водорастворимых небелковых слизистых веществ путем обработки жмыха подкисленным водным раствором pH 3,5-4,0 в соотношении 1:15 в течение 0,5-1 ч, отделение раствора слизей от жмыха, промывку жмыха водой от остатков слизей, отделение промывочной воды от жмыха, экстракцию белка из бесслизевых жмыха семян льна 0,5-0,8 М раствором хлорида натрия в щелочной среде при pH 9-10 и температуре 20-40°C в течение 1-3 ч, отделение белкового экстракта от нерастворимого осадка, осаждение белка из экстракта кислотой, отделение осажденного белка, его промывку и сушку.

(56) (продолжение):

сельскохозяйственной литературы, 1957, 3-5. Пищевая химия. /Под ред. д.т.н. проф. А.П. НЕЧАЕВА. - С.-Пб.: Гиорд, 2003, с.374-375. WARRAND J, MICHUD P., PICTON L., MULLER G., COURTOIS B., RALAINIRINA R., COURTOIS J. Structural investigation of the neutral polysaccharide of *Linum usitatissimum*. L.seed mucilage». - International journal biological macromolecules, №35, 2005, с.121-

01.03.2018

ИЗ №2639770

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 639 770** ⁽¹³⁾ **C2**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
C08B 37/18 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.12.2017)
Пошлина: учтена за 3 год с 15.09.2017 по 14.09.2018

(21)(22) Заявка: **2015139034**, 14.09.2015(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.09.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **14.09.2015**(43) Дата публикации заявки: **17.03.2017** Бюл. № **8**(45) Опубликовано: **22.12.2017** Бюл. № **36**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2373956 C1, 27.11.2009. RU**
2437552 C1, 27.12.2011. RU 2392972 C2,
27.06.2010. EP 688792 A1, 27.12.1995.

Адрес для переписки:

170008, г. Тверь, ул. Озерная, 8, кв. 40,
Зубцову В.А.

(72) Автор(ы):

Миневич Ирина Эдуардовна (RU),
Зубцов Валерий Александрович (RU),
Осипова Лидия Леонидовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Зубцов Валерий Александрович (RU)**(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИСАХАРИДНОГО КОМПЛЕКСА ИЗ СЕМЯН ЛЬНА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к пищевой промышленности. Предложен способ получения полисахаридного комплекса из семян льна, включающий экстракцию льняного семени в воде, сепарацию слизей, концентрирование экстракта, сушку полисахаридного комплекса. Экстракцию проводят в дистиллированной или питьевой воде при температуре 40°C в течение 1 часа при перемешивании. Сепарацию слизей осуществляют центрифугированием или фильтрацией через фильтр из синтетического волокна или декантацией. Концентрацию экстракта осуществляют при помощи роторного испарителя при температуре 40°C. Сушку полисахаридного комплекса осуществляют в распылительной сушилке или при помощи сушики под вакуумом при 40-50°C или лиофильной сушики. Способ позволяет получить продукт, относящийся к функциональным пищевым ингредиентам, широко используемым в качестве загустителей, эмульгаторов и стабилизаторов. 3 табл., 4 пр.

Область техники, к которой относится изобретение.

Изобретение относится к пищевой промышленности, а именно к способу получения полисахаридных комплексов - функциональных пищевых ингредиентов, используемых в качестве загустителей, гелеобразователей, эмульгаторов, стабилизаторов в пищевых технологиях.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2683636

КЕКС

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр лубяных культур" (ФГБНУ ФНЦ ЛК) (RU)*

Авторы: *Миневич Ирина Эдуардовна (RU), Осипова Лидия Леонидовна (RU), Зубцов Валерий Александрович (RU), Левкина Галина Ивановна (RU)*

Заявка № 2018107856

Приоритет изобретения 02 марта 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 29 марта 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 02 марта 2038 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 683 636**⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A21D 13/80 (2017.01)
A21D 2/36 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**(52) СПК
A21D 13/80 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018107856, 02.03.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.03.2018Дата регистрации:
29.03.2019Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 02.03.2018

(45) Опубликовано: 29.03.2019 Бюл. № 10

Адрес для переписки:
170041, г. Тверь, Комсомольский пр-кт, 17/56,
ФГБНУ ФНЦ ЛК

(72) Автор(ы):

Миневич Ирина Эдуардовна (RU),
Осипова Лидия Леонидовна (RU),
Зубцов Валерий Александрович (RU),
Левкина Галина Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный научный
центр лубяных культур" (ФГБНУ ФНЦ ЛК)
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2623110 C1, 22.06.2017. Кекс
без пшеничной муки и яиц очень вкусный -
Хлебопечка.ру, 12 февраля 2014 [найдено
01.10.2018]. Найдено в
Интернет:[https://hlebopechka.ru/
index.php?option=com_smf&topic=370903.0](https://hlebopechka.ru/index.php?option=com_smf&topic=370903.0).
US 20150147434 A1, 28.05.2015. RU 2470512
C1, 27.12.2012.RU
2
6
8
3
6
3
6
C
1

(54) КЕКС

(57) Формула изобретения

1. Кекс, содержащий муку пшеничную высшего сорта, сахар-песок, масло растительное рафинированное, соль, разрыхлитель, молоко (питьевое или сухое), вкусовые добавки, воду питьевую и льняной компонент, в качестве которого используется льняная мука или подсушенные измельченные семена льна, при этом для приготовления кекса льняную муку предварительно смешивают с питьевой водой до однородной массы, а подсушенные измельченные семена льна предварительно суспензируют с маслом растительным рафинированным, причем используют следующее соотношение исходных рецептурных ингредиентов, мас. %:

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| мука пшеничная высшего сорта | 33,6-37,8 |
| сахар-песок | 7,8 |
| масло растительное рафинированное | 3,7 |
| соль | 0,8 |
| разрыхлитель | 1,2 |
| молоко (питьевое или сухое) | 23,3 |
| вкусовые добавки | 0-5,0 |
| льняной компонент | 2,0-4,0 |

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2524076

**СОУС МАЙОНЕЗНОГО ТИПА С ЛЬНЯНОЙ МУКОЙ
"БУДЬ ЗДОРОВ"**

Патентообладатель(ли): *Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт механизации
льноводства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ
ВНИИМЛ Россельхозакадемии) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013109883

Приоритет изобретения 05 марта 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 30 мая 2014 г.

Срок действия патента истекает 05 марта 2033 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 524 076** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A23L 1/24 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2013109883/13, 05.03.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.03.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.03.2013

(45) Опубликовано: 27.07.2014 Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 1243687 A1, 15.07.1986. RU 2462049
C1, 27.09.2012. US 20090258133 A1, 15.10.2009.
.....

Адрес для переписки:

170041, г.Тверь, Комсомольский просп., 17/56,
ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии

(72) Автор(ы):

Миневич Ирина Эдуардовна (RU),
Осипова Лидия Леонидовна (RU),
Зубцов Валерий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский
институт механизации льноводства
Российской академии сельскохозяйственных
наук (ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии)
(RU)(54) **СОУС МАЙОНЕЗНОГО ТИПА С ЛЬНЯНОЙ МУКОЙ "БУДЬ ЗДОРОВ"**

(57) Формула изобретения

1. Соус майонезного типа с льняной мукой, содержащий растительное масло или смесь растительных масел, эмульгатор, горчичный порошок, соль, сахар, пищевую кислоту лимонную или уксусную, вкусовые добавки, пряности и воду, отличающийся тем, что в качестве эмульгатора используют льняную муку при следующем соотношении исходных компонентов, мас. %:

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| Растительное масло | |
| или смесь растительных масел | 25,0-30,0 |
| Мука льняная | 3,0-6,0 |
| Горчичный порошок | 1,0-2,5 |
| Уксусная кислота 80%-ная | |
| или лимонная кислота кристаллическая | 0,5-0,6 |
| Соль | 0,5-1,1 |
| Сахар | 1,0-1,2 |
| Вкусовые добавки и пряности | 0,1-20,0 |
| Вода | остальное |

2. Соус майонезного типа по п.1, отличающийся тем, что содержит смесь растительных масел в количестве 25,0-30,0%, выбранную из ряда в соотношении: подсолнечное, оливковое и льняное 70%:20%:10%; подсолнечное, рапсовое и оливковое 45%:45%:10%; подсолнечное, рапсовое и кукурузное 48%:50%:2%; подсолнечное и льняное 80%:20%; оливковое и льняное 90%:10%.

3. Соус майонезного типа по п.1, отличающийся тем, что содержит вкусовые добавки в количестве 0,1-20,0%, выбранные из ряда: лук, петрушка, сельдерей, пастернак, укроп,

чеснок, морковь, имбирь, орехи грецкие, орехи фундука.

4. Соус майонезного типа по п.1, отличающийся тем, что содержит пряности в количестве 0,1-20,0%, выбранные из ряда: майоран, базилик, мята, куркума, кориандр, кумин, шафран, имбирь, кардамон, эстрагон, черный перец, красный перец, чабер, шалфей, мускатный орех, корица, розмарин, бадьян.

5. Соус майонезного типа по п.1, отличающийся тем, что смешивается с готовыми соусами в количестве 1-10%, выбранными из ряда: томат-пюре, томат-паста, соевый соус, томатный соус, соус «Шашлычный», соус «Ткемали» и их смеси.

RU 2524076 C1

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Акты опытных испытаний

УТВЕРЖДАЮ

Директор ВНИИМС – филиала ФБГНУ
«ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Топникова Е.В.
» июль 2019 г.

**АКТ**

**НАРАБОТКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА
КОНЦЕНТРАТА БЕЛКА ИЗ ЛЬНЯНОГО ЖМЫХА**

Мы, нижеподписавшиеся, руководитель направления биохимических исследований по сыроделию и маслоделию ВНИИМС, кандидат биологических наук Абрамов Д.В., и специалисты ФБГНУ «ФНЦ ЛК» старший научный сотрудник Осипова Л.Л., ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук Миневиц И.Э. составили настоящий акт на основании работ, проведенных в отделе биохимии ВНИИМС, был наработан опытный образец белкового концентрата из жмыха семян льна.

Наработка проводилась в соответствии с технологической схемой, разработанной в ФБГНУ «ФНЦ ЛК».

Были отработаны режимы получения белкового концентрата из льняного жмыха, адаптированные к использованию на малых предприятиях.

Для наработки был использован льняной жмых производства 2018 г., соответствующий ГОСТ 10974-95, содержащий 33,8% протеина.

Объем загрузки сырья – 2 кг. Компонентный состав целевого белкового продукта соответствует заданным требованиям, а именно: содержание протеина – не менее 50%.

Технология способствует повышению эффективности комплексной переработки семян масличных культур и получению дополнительной продукции с добавленной стоимостью. Внедрение технологии переработки льняного жмыха позволит расширить ассортимент отечественных функциональных ингредиентов и частично снизить импортозависимость в них пищевой промышленности.

Руководитель направления
биохимических исследований
по сыроделию и маслоделию ВНИИМС

Вед. науч. сотр. ФБГНУ «ФНЦ ЛК».

Д.В. Абрамов

И.Э. Миневиц



УТВЕРЖДАЮ

Директор ВНИИМС – филиала ФГБНУ
«ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Топникова Е.В.
« 05 » _____ 2020 г.

АКТ

НАРАБОТКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА СУХОГО ЭКСТРАКТА ПОЛИСАХАРИДОВ ИЗ СЕМЯН ЛЬНА

Мы, нижеподписавшиеся, руководитель направления биохимических исследований по сыроделию и маслodelию ВНИИМС, кандидат биологических наук Абрамов Д.В. и специалисты ФГБНУ ФНЦ ЛК старший научный сотрудник Осипова Л.Л., ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук Миневич И.Э. составили настоящий акт, что на основании работ, проведенных в отделе биохимии ВНИИМС, наработан опытный образец сухого экстракта полисахаридов из семян льна.

Наработка проводилась в соответствии с технологической схемой, разработанной в ФГБНУ «ФНЦ ЛК».

Были отработаны режимы получения полисахаридного экстракта из семян льна.

Для наработки были использованы семена льна масличного сорта Дипломат (производство ВНИИЛ, г. Торжок, 2018 г). Характеристика семян: сумма полисахаридов – 13,6%, содержание белка – 25,81%.

Объем загрузки сырья – 10 кг. Компонентный состав целевого полисахаридного продукта соответствует заданным требованиям, а именно: сумма полисахаридов – не менее 65%, содержание протеина – не более 15%.

Технология способствует повышению эффективности комплексной переработки семян масличных культур и получению дополнительной продукции с добавленной стоимостью. Внедрение технологии предварительной обработки семян льна позволит расширить ассортимент отечественных функциональных ингредиентов и частично снизить импортозависимость в них пищевой промышленности.

Руководитель направления
биохимических исследований
по сыроделию и маслodelию ВНИИМС

Абрамов Д.В. Абрамов

Вед. науч. сотр. ФГБНУ «ФНЦ ЛК»

Миневич И.Э. Миневич

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Проекты технической документации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР»
(ФГБНУ ФНЦ ЛК)

ОКПД 2 10.89.15.130
ОКП 919031

Группа Н97
(ОКС 67.220.20)



Директор ФГБНУ ФНЦ ЛК
Р.А.Ростовцев
«22» _____ 2021г.

ПРОДУКТ ПОЛИСАХАРИДНЫЙ ИЗ ЛЬНЯНОГО СЕМЕНИ

**Технические условия
ТУ 10.89.15-002-10784971-2021**

(Утверждены впервые)

Дата введения в действие – _____

ПРОЕКТ

РАЗРАБОТАНО
ФГБНУ ФНЦ ЛК
Лаборатория переработки
лубяных культур
Ведущий научный сотрудник, к.т.н.
_____ И.Э. Миневич

г. Тверь
2021

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР»
(ФГБНУ ФНЦ ЛК)

ОКПД 2 10.89.15.130
ОКП 919031



Группа Н97
(ОКС 67.220.20)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБНУ ФНЦ ЛК
Р.А.Ростовцев
«24» апреля 2021г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
по изготовлению и контролю
ПРОДУКТА ПОЛИСАХАРИДНОГО ИЗ ЛЬНЯНОГО СЕМЕНИ

ПРОЕКТ

РАЗРАБОТАНО
ФГБНУ ФНЦ ЛК
Лаборатория переработки
лубяных культур
Ведущий научный сотрудник, к.т.н.
И.Э. Миневич И.Э. Миневич

г. Тверь
2021

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДВРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР»
(ФГБНУ ФНЦ ЛК)

ОКПД2 10.89.19.140
ОКП 914616

Группа Н97
(ОКС 67.220.20)



УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБНУ ФНЦ ЛК
Р.А.Ростовцев
«23» марта 2021 г.

КОНЦЕНТРАТ БЕЛКОВЫЙ ЛЬНЯНОЙ

Технические условия
ТУ 10.89.19-003-10784971-2021

(Утверждены впервые)
Дата введения в действие – 01.12.2021 г.

ПРОЕКТ

РАЗРАБОТАНО
ФГБНУ ФНЦ ЛК
Лаборатория переработки лубяных
культур
Ведущий научный сотрудник, к.т.н.
И.Э.Миневич И.Э.Миневич

г. Тверь
2021

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
 ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ
 ЛЬНОВОДСТВА
 (ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии)

ОКП 91 4330

Группа Н 65
(ОКС 67.200.10)

СОГЛАСОВАНО
 Гигиеническое заключение
 №



УТВЕРЖДАЮ
 Директор ГНУ ВНИИМЛ
 Россельхозакадемии
 М.М. Ковалев
 личная подпись

СОУСЫ ЛЬНЯНЫЕ «Будь здоров»

Технические условия
 ТУ 9143-001-10784971-12

Дата введения в действие –30.11.2012 г.

РАЗРАБОТАНО

ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии
 Зав. отделом биотехнологии, д. мед. наук
 В.А. Зубцов

личная подпись

Старший научный сотрудник, к.т.н.

И.Э. Миневич

личная подпись

Старший научный сотрудник

Л.Л. Осипова

личная подпись

Тверь
 2012

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
 ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ
 ЛЬНОВОДСТВА
 (ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии)



УТВЕРЖДАЮ

Директор ГНУ ВНИИМЛ
 Россельхозакадемии

М.М. Ковалев

личная подпись

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
 по изготовлению и контролю продукта
СОУСЫ ЛЬНЯНЫЕ «Будь здоров»

РАЗРАБОТАНО

ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии
 Зав. отделом биотехнологии, д. мед. наук
В.А. Зубцов

личная подпись

Старший научный сотрудник, к.т.н.
И.Э. Миневич

личная подпись

Старший научный сотрудник
Л.Л. Осипова

личная подпись

Тверь
 2012

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР»
(ФГБНУ ФНЦ ЛК)

ОКПД2 10.72.19.122
ОКП 911005

Группа Н32
(ОКС 67.060)



УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБНУ ФНЦ ЛК
Р.А.Ростовцев
«15» декабря 2021 г.

БАТОН ПШЕНИЧНО-ЛЬНЯНОЙ

Технические условия
ТУ 10.72.19-004-10784971-2021

(Утверждены впервые)
Дата введения в действие – 24.12.2021 г.

РАЗРАБОТАНО
ФГБНУ ФНЦ ЛК
Лаборатория переработки
лубяных культур
Ведущий научный сотрудник, к.т.н.
И.Э.Миневич

г. Тверь
2021