

На правах рукописи



Корнева Елена Сергеевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЯКОНА В ТЕХНОЛОГИИ
ОБОГАЩЕННОГО КРЕКЕРА**

4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Орёл – 2024

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой товароведения и экспертизы товаров, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»
Дерканосова Наталья Митрофановна

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Магомедов Газибег

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой пищевых технологий и биоинженерии, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»
Никитин Игорь Алексеевич

Ведущая организация: **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»**

Защита состоится «6» ноября 2024 года в 10 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 24.2.353.05 при ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302020 г. Орёл, Наугорское шоссе, д.29 ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (<https://oreluniver.ru>)

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации направлять в диссертационный совет по адресу: 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, д.95
E-mail: simonenkova1@mail.ru

Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» <https://oreluniver.ru> и в сети интернет на сайте Министерства образования и науки РФ: <https://vak.minobrnauki.gov.ru> 05 сентября 2024 года.

Автореферат разослан «8» сентября 2024 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета,
к.т.н., доцент



А.П. Симоненкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Корректировка рационов питания с целью обеспечения организма человека физиологически необходимыми нутриентами относится к актуальным проблемам. Установлено, что питание вносит до 50% вклада в обеспечение здоровья и работоспособности человека от суммы всех факторов, влияющих на образ жизни (МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»). Рационы питания населения должны отвечать требованиям не только по объемам, физической и экономической доступности, но и нутриентной характеристике – соответствию состава (макро- и микронутриентов) потребностям организма различных групп населения Российской Федерации. Обсуждение этой проблемы целесообразно, как с позиций создания новых продуктов, так и их восприятия на потребительском рынке. Многочисленные исследования показывают, что они не должны кардинально отличаться от традиционного сенсорного профиля, но при этом иметь отличные характеристики в части нутриентного состава. Соответственно, необходим поиск новых сырьевых источников доступных по происхождению, технологичных и ценных по химическому составу. Исследования в этом направлении традиционно связаны с применением зерновых ингредиентов, продуктов переработки плодов и овощей, включая вторичные сырьевые ресурсы. Существенный вклад в изучение свойств и разработку технологий применения нетрадиционных сырьевых ингредиентов в рецептурных составах хлебобулочных и мучных кондитерских изделий внесли Л.П. Пашенко, Л.И. Кузнецова, Г.О. Магомедов, Е.А. Кузнецова, С.Я. Корячкина, В.Я. Черных, Ю.Ф. Росляков, Т.Б. Цыганова, Н.В. Лабутина, Л.Н. Шатнюк, Т.В. Рензьева, И.М. Жаркова, Н.А. Березина и другие ученые.

Относительно новым направлением в поиске нетрадиционных сырьевых ресурсов стало применение интродуцированных культур и продуктов их переработки. Среди них особый интерес представляют: топинамбур, якон, дайкон, известные своим отличительным углеводным составом, как в части моно- и дисахаридов, так и полисахаридов. Исследования ученых В.К.Гинс, М.С.Гинс, П.Ф.Кононкова от вопросов селекции этих овощных культур до применения в технологиях функциональных продуктов питания позволили обосновать их перспективность в пищевых технологиях. При этом потенциал интродуцированных культур раскрыт еще не полностью, что позволяет сделать их объектом исследований в области обогащенных продуктов питания для различных групп населения. К этой категории в полной мере относятся мучные кондитерские изделия, отличающиеся ростом объемов производства и потребления.

Работа проводилась в соответствии с планом госбюджетных исследований кафедры товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Использование потенциала сельскохозяйственного сырья для разработки технологий пищевых продуктов с улучшенными характеристиками, специализированного и функционального назначения».

Цель и задачи исследования. Целью исследований является комплексное изучение свойств продукта переработки якона, как пищевого ингредиента и разработка способа его применения в технологии обогащенного крекера.

В рамках поставленной цели решались следующие **задачи**:

- изучение рынка обогащенных мучных кондитерских изделий в разрезе региона; определение групп мучных кондитерских изделий, в которые с позиций потребительских предпочтений и функциональных свойств целесообразно внесение продуктов переработки якона;
- получение порошкообразного полуфабриката якона; изучение его органолептических и физико-химических характеристик, оценка показателей безопасности;
- изучение вещественного состава, функционально-технологических свойств порошкообразного полуфабриката якона, влияния на хлебопекарные свойства муки;

- изучение влияния порошкообразного полуфабриката якона на физиологическое состояние лабораторных животных;
- проектирование рецептурных составов и разработка технологических приемов получения крекера с порошкообразным полуфабрикатом якона;
- исследование потребительских характеристик крекера с порошкообразным полуфабрикатом якона, изучение параметров его хранения;
- разработка математического инструментария проектирования рецептурного состава обогащенного крекера;
- разработка нормативной документации на продукт переработки якона и крекер с порошкообразным полуфабрикатом якона;
- апробация рецептурного состава и способа получения крекера с продуктом переработки якона в опытно-промышленных условиях.

Научная новизна. Проведена комплексная оценка функционально-технологического и нутриентного потенциала порошкообразного полуфабриката якона:

- изучены функционально-технологические характеристики полуфабриката якона: жиросвязывающая, водосвязывающая способность и растворимость;
- установлена способность якона вступать в кислотно-основное взаимодействие;
- исследован вещественный состав порошкообразного полуфабриката якона с использованием метода адсорбционной инфракрасной спектроскопии;
- определено влияние порошкообразного полуфабриката якона на физиологическое состояние лабораторных животных;
- установлены закономерности биотехнологических процессов формирования качества крекера с введением в его состав порошкообразного полуфабриката якона;
- обоснован выбор математического инструментария для проектирования состава композитной смеси для производства обогащенного крекера.

Практическая значимость работы. На основании проведенных исследований:

- разработан способ получения порошкообразного полуфабриката якона. На полуфабрикат якона разработана и утверждена нормативная документация – ТУ 01.13.05–007–00492894–2022 Якон сушеный;
- разработан рецептурный состав и технологические параметры способа приготовления крекера с порошкообразным полуфабрикатом якона. Разработана нормативная документация на крекер с яконом – ТУ 10.72.12-008-00492894-2023 КРЕКЕР «ЯКОН удачи» с тмином.

Результаты исследований апробированы в опытно-промышленных условиях учебно-научно-производственного центра ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Агропереработка» и ООО «Вижер» (г. Воронеж).

Положения, выносимые на защиту. Теоретическое и экспериментальное обоснование применения полуфабриката якона сорта Юдинка, как обогащающего ингредиента.

Функционально-технологические свойства, инфракрасные спектры поглощения полуфабриката якона.

Результаты изучения функциональных свойств полуфабриката якона на лабораторных животных.

Результаты проектирования рецептурного состава обогащенного крекера, подтверждение его функциональных свойств.

Выбор математического инструментария для проектирования состава композитной смеси для производства обогащенного крекера в условиях нечетко заданных параметров смеси и вариации состава ее компонентов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных и научно-практических конференциях различного уровня: 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. Том 422 «IOP conference series: earth and environmental science», g. Voronezh. 2020 g.,

международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию возрождения кафедры товароведения и экспертизы товаров «Качество и безопасность товаров: от производства до потребления», г. Москва, 2019 г., VI международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (на иностранных языках) «Актуальные проблемы Аграрной науки, производства и образования», г. Воронеж, 2020 г., международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии и технические средства для АПК», г. Воронеж, 2021 г., 73-й национальной научно-практической конференции студентов и магистрантов, г. Воронеж, 2022 г., международной научно-практической конференции «Современные технологии сельскохозяйственного производства», г. Гродно, 2023 г., международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы научного и технологического обеспечения инновационного развития», г. Оренбург, 2023 г.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 12 работ, в том числе 2 в периодических изданиях, рекомендуемых ВАК, 1 SCOPUS.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературных источников, экспериментальной части, выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 154 страницах основного текста, содержит 6 приложений, иллюстрирована 44 рисунками и 37 таблицами. Список литературы включает 160 наименований, в том числе 39 иностранных источников.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, поставлена цель и сформулированы задачи исследований, отмечена научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе представлен обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы в части принятых положений в области функционального питания, функциональных пищевых ингредиентов. Приведены предлагаемые к использованию обогащающие добавки и нетрадиционные сырьевые ингредиенты для производства пищевых продуктов на мучной основе. Рассмотрены перспективы применения инулинсодержащего сырья для использования в качестве обогащающего пищевого ингредиента.

Во второй главе рассмотрены объекты и методы исследований.

Структурная схема исследования представлена на рисунке 1.

Экспериментальные и аналитические исследования, опытные и опытно-промышленные испытания осуществлялись в структурных подразделениях (лабораториях, испытательных центрах) ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, ФГБОУ ВО ВГУ, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, ФГБУ Государственный центр агрохимической службы «Воронежский».

Объектами исследования на различных этапах являлись:

- результаты изучения рынка обогащенных мучных кондитерских изделий в разрезе региона и отношения потребителей к этой группе мучных кондитерских изделий;
- якон, высушенные клубни якона, порошкообразный полуфабрикат из якона. В работе применяли клубни якона сорта Юдинка, выращенные в ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (проф. Гинс В.К., проф. Гинс М.С., проф. Кононков П.Ф.);
- пробы опары, теста, крекера с порошкообразным полуфабрикатом якона, технологические параметры производства крекера.

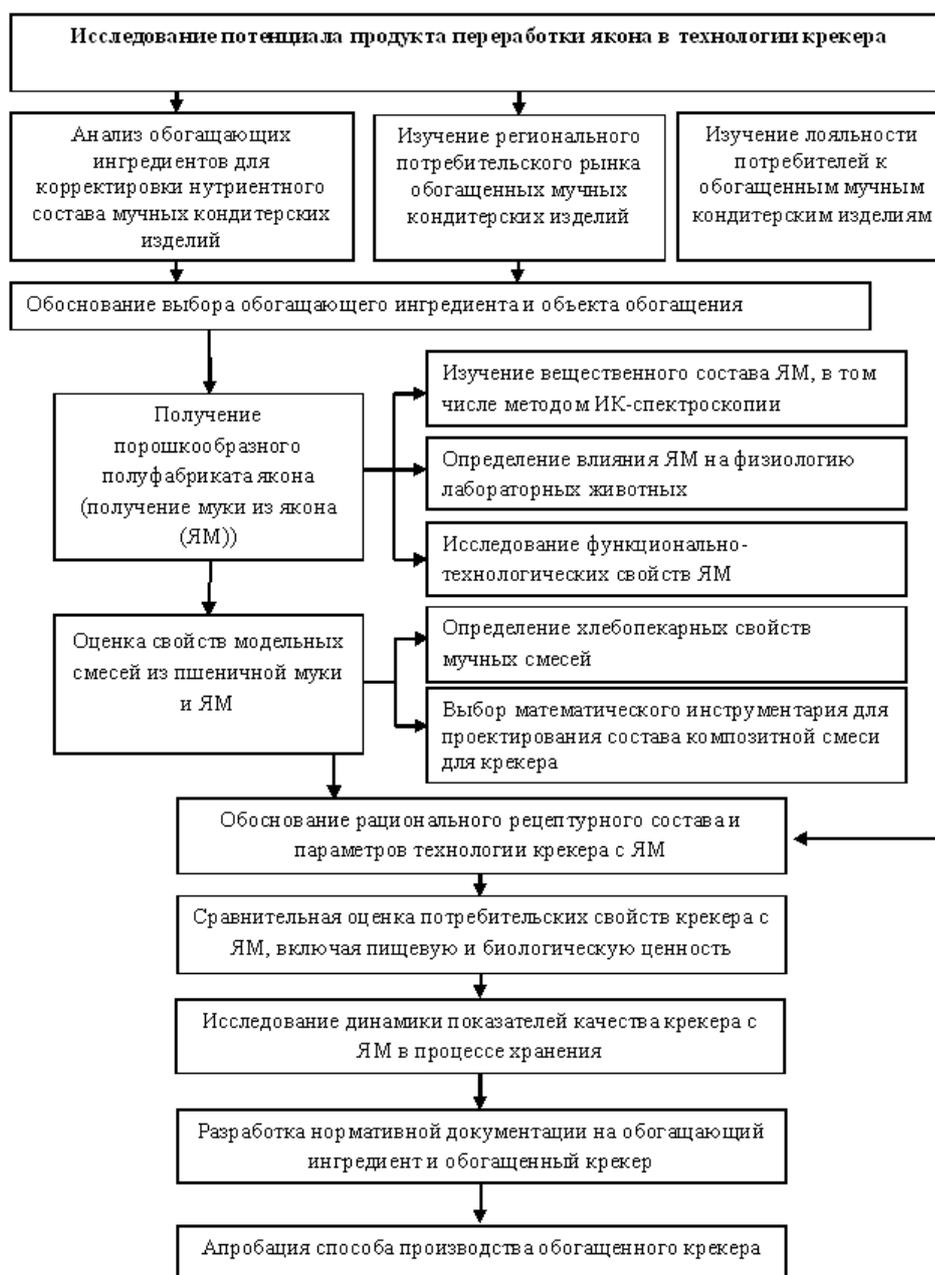


Рисунок 1 – Схема исследования

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований.

Результаты изучения регионального рынка мучных кондитерских изделий показали низкую насыщенность обогащенной продукцией, значительное место в этом сегменте крекера (34,8 %), что позволило обосновать его выбор в качестве объекта исследований.

С целью определения направлений проектирования крекера были проведены исследования лояльности потребителей к обогащенным мучным кондитерским изделиям и обогащающим ингредиентам. Выборка респондентов составляла 390 человек и по структуре соответствовала генеральной совокупности - населению г. Воронежа. Установлено, что из группы мучных кондитерских изделий потребители отдают предпочтение печенье (44 %) (рис. 2). В качестве обогащающих ингредиентов 38 % респондентов считают целесообразным использование продуктов переработки зерновых культур, 30 % – продуктов переработки плодов и овощей. Значительно меньшим числом респондентов отмечены изолированные нутриенты. Что подтверждает целесообразность применения натуральных по происхождению, комплексных по составу нетрадиционных сырьевых ингредиентов (рис. 3). В отношении якона установлено, что только 29 % респондентов имеют информацию о нем.

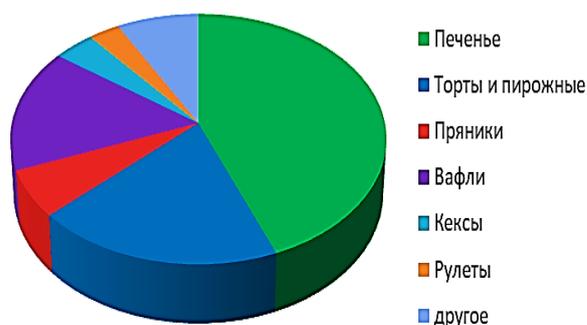


Рисунок 2 – Распределение респондентов по потреблению видов мучных кондитерских изделий



Рисунок 3 – Распределение респондентов по выбору обогащающих ингредиентов

Проведены экспериментальные исследования органолептических, физико-химических, функционально-технологических свойств продукта переработки якона.

В качестве способа переработки якона предложено высушивание предварительно вымытых и нарезанных толщиной 3-4 мм клубней якона под воздействием инфракрасного излучения. Способ реализуется при температуре 61-62 °С в течение 100-110 мин., что позволяет сохранить вкус и аромат исходного сырьевого источника, макро-, микроэлементы и другие минорные биологически активные вещества. Высушенный якон измельчают до гранулометрии менее 0,315 мм. Учитывая структуру порошкообразного полуфабриката якона, в дальнейшем в работе применяется сокращенный термин «мука из якона» (ЯМ).

Порошкообразный полуфабрикат якона имеет сыпучую, мелкодисперсную консистенцию, светло-кремовый цвет, сладковатый привкус, умеренно выраженный фруктовый запах (рис.5). Характеризуется массовой долей, в %: влаги - $11,1 \pm 1,10$, инулина - $56,6 \pm 1,40$, клетчатки - $5,5 \pm 0,11$, белка - $3,0 \pm 0,1$, жира - $0,47 \pm 0,05$, золы - $5,1 \pm 0,2$. Содержит: редуцирующих сахаров - $14,2 \pm 0,43$ %, сахарозы - $3,10 \pm 0,06$ %, каротина - $22,0 \pm 0,6$ мг/кг СВ, макро- и микроэлементов, в мг/100 г: кальция - $190,0 \pm 6,0$, фосфора - $240,0 \pm 5,0$, магния - 160 ± 48 ; в мг/кг: железа - $9,10 \pm 1,82$, марганца - $0,82 \pm 0,16$, цинка - $5,85 \pm 1,17$, меди - $2,60 \pm 0,52$.



Рисунок 4 – Высушенный якон



Рисунок 5 – Порошкообразный полуфабрикат якона

Порошкообразный полуфабрикат якона имеет низкую влажность, умеренную кислотность (рН 5,3), что определяет сохранность его свойств в течение длительного периода времени. Этому же способствует низкое содержание жира и, соответственно, слабая способность к окислительной порче. Особенности состава сырьевого источника обуславливают в ЯМ высокое содержание инулина, редуцирующих сахаров, клетчатки и золы.

Определение показателей безопасности ЯМ по содержанию токсичных элементов, пестицидов и радионуклидов в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ «Государственный центр агрохимической службы «Воронежский» показали полное соответствие требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Результаты микробиологических исследований по показателям: КМАФАнМ, бактерии группы кишечных палочек, плесени, неспорообразующие микроорганизмы *V. cereus* также

показали возможность применения порошкообразного полуфабриката якона как пищевого ингредиента.

Качественный состав ЯМ осуществляли методом адсорбционной инфракрасной спектроскопии. Спектральные данные (рис.6) позволяют сделать вывод о том, что основу образца составляют полисахариды, такие как целлюлоза, инулин и их производные. В составе полимерных макромолекул, построенных из глюкопиранозных циклов, присутствуют гидроксильные, сложноэфирные, карбоксильные группы, а также азотсодержащие аминные и иминные группировки. Результаты исследования кислотно-основной активности ЯМ (рис. 7) демонстрируют их способность проявлять как протон-донорные, так и протон-акцепторные свойства. Компоненты исследованного образца формируют сложного состава буферные системы, позволяющие практически не менять кислотно-щелочной баланс водной взвеси в широком интервале значений pH.

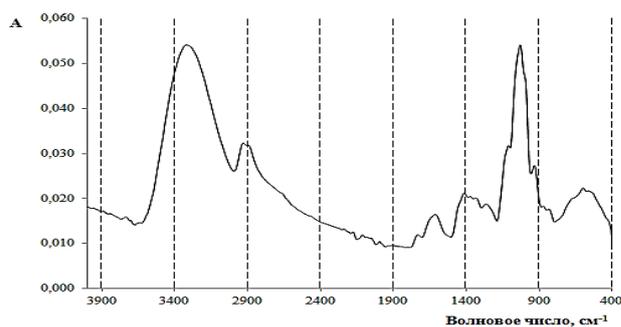


Рисунок 6 – Инфракрасный спектр поглощения образца ЯМ

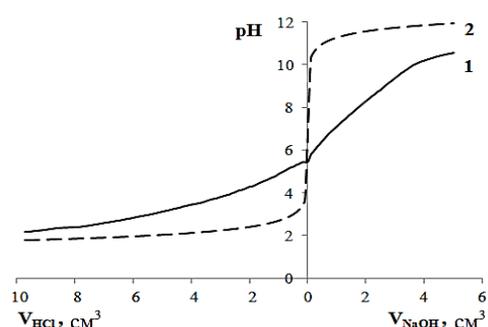


Рисунок 7 – Интегральная кривая потенциометрического титрования водной суспензии ЯМ растворами 0,1 М хлороводородной кислоты и 0,1 М гидроксида натрия: 1 – образец ЯМ, 2 – теоретический расчет

Изучение функционально-технологических свойств ЯМ различной гранулометрии (от 125 до 315 мкм, от 63 до 125 мкм; менее 63 мкм) проводили в сравнении с мукой пшеничной хлебопекарной высшего сорта. Установлено, что ЯМ характеризуется существенно более высокой жиро- и водосвязывающей способностью. С уменьшением размера частиц жиро- и водосвязывающая способность ЯМ увеличивается (рис. 8, 9).

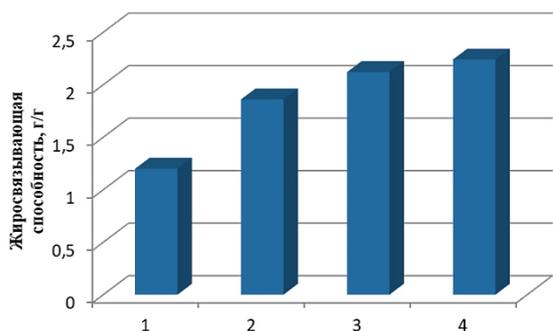


Рисунок 8 – Жиросвязывающая способность

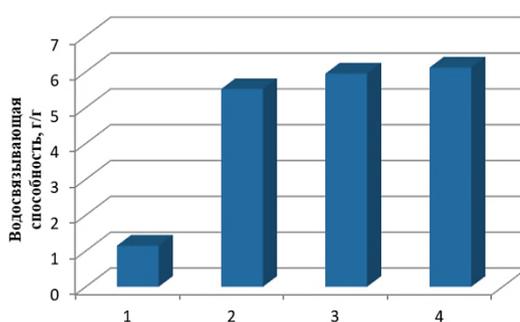


Рисунок 9 – Водосвязывающая способность

1 – мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта, 2,3,4 - ЯМ с гранулометрией соответственно от 125 до 315 мкм; от 63 до 125 мкм; менее 63 мкм

Исследования физиологической активности ЯМ проводили на лабораторных животных - белых крысах линии Wistar. Контрольная группа лабораторных животных получала 190 г основного рациона (овёс и ячмень), опытных – 90 г основного рациона и 15 г ЯМ. У животных опытных групп при изучении биохимических показателей крови наблюдалось улучшение АЛТ, АСТ, мочевины, общего белка, нормализовалось количество лимфоцитов, уровень гемоглобина, уровень глюкозы в крови относительно контрольной группы. При морфологическом изучении печени, почек и желудка патологических процессов не выявлено (рис. 10). Применение в рационе лабораторных

животных ЯМ способствует профилактике и предотвращает возникновение дистрофических процессов в печени, почках и желудке.

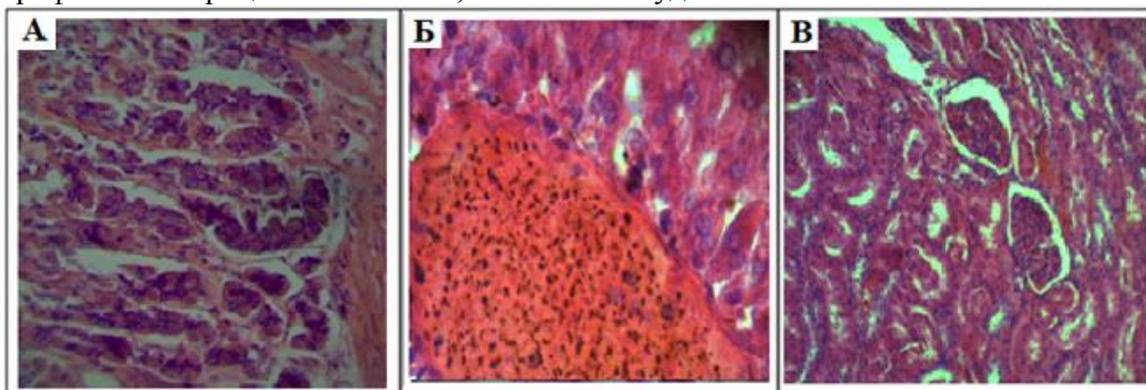


Рисунок 10 – Архитектоника желудка (а), печени (б), почек (в) крыс опытной группы. Окраска гематоксилин-эозин, \times об 40

С позиций обеспечения реологических свойств теста и качества крекера изучено влияние порошкообразного полуфабриката якона на хлебопекарные свойства муки (рис. 11, 12, 13, 14). Модельные смеси готовили из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и ЯМ при дозировке последней до 20 % с шагом 3,5 %. Максимально допустимый уровень ЯМ был установлен в предварительной серии опытов.

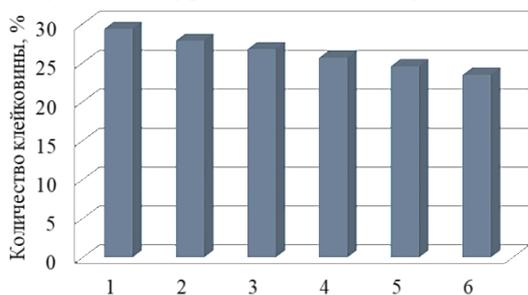


Рисунок 11 – Зависимость количества клейковины от дозировки ЯМ в модельной смеси:

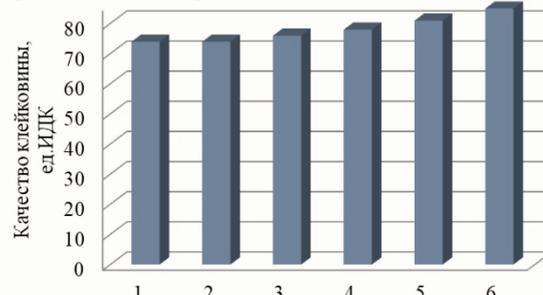


Рисунок 12 – Зависимость качества клейковины от дозировки ЯМ в модельной смеси:

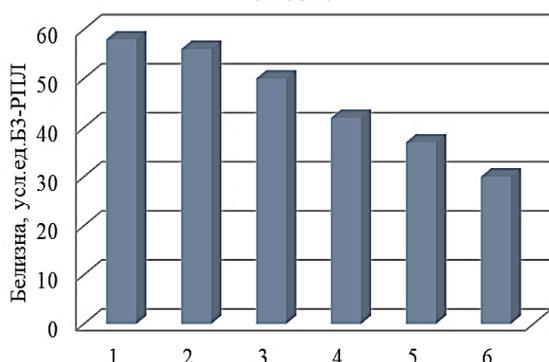


Рисунок 13 – Зависимость белизны от дозировки ЯМ в модельной смеси:

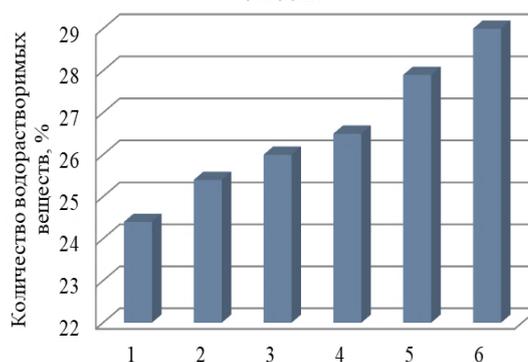


Рисунок 14 – Зависимость автолитической активности в водорастворимых веществах от дозировки ЯМ в модельной смеси:

1 – контроль, 2, 3, 4, 5, 6 – дозировка ЯМ к массе муки, % соответственно 6,0, 9,5, 13,0, 16,5, 20,0

По результатам исследований установлено:

– ЯМ оказывает влияние на хлебопекарные свойства: снижает количество клейковины и цвет; практически не изменяет качество клейковины; существенно увеличивает количество водорастворимых веществ в модельной смеси;

– для формирования качественных характеристик крекера, близких к традиционным, целесообразно рассматривать дозировку ЯМ, не превышающую 13 % от массы муки; при выборе способа приготовления – технологии, включающие процесс брожения.

Исследования состава, показателей безопасности, функционально-технологических

характеристик, влияния на хлебопекарные свойства показали целесообразность применения порошкообразного полуфабриката якона в качестве обогащающего ингредиента кркера. На якон сушеный разработаны ТУ 01.13.05–007–00492894–2022. Способ получения ЯМ апробирован в условиях УНПЦ «Агропереработка».

Выбор рациональной дозировки ЯМ осуществляли в серии лабораторных выпечек. За контрольную была принята рецептура кркера «С тмином». Часть муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта на замес теста (на выход 10 кг готовых изделий) заменяли на ЯМ при соотношении, в масс. долях: 66:4, 64:6, 62:8, 60:10, 58:12. Состав мучных смесей идентичен дозировкам ЯМ, рассмотренным выше. Тесто готовили опарным способом.

Результаты сравнительной оценки органолептических и физико-химических показателей контроля и опытных образцов представлены в таблице 1 и на рис. 15.

Таблица 1 – Сравнительная оценка показателей кркера с различной дозировкой ЯМ

№ п/п	Наименование показателя	Характеристика кркера					
		«С тмином»	при соотношении муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и ЯМ на замес теста (на выход 10 кг), в масс. долях				
			66:4	64:6	62:8	60:10	58:12
1.	Балловая оценка	82,5	83,5	85,5	90,0	87,0	81,5
1.	Массовая доля влаги, %	6,7±0,2	6,7±0,2	6,5±0,2	6,5±0,2	6,6±0,2	6,5±0,2
2.	Намокаемость, %	154±4,0	158±4,0	162±4,2	166±4,2	163±4,2	155±4,0
3.	Кислотность, град.	2,2±0,08	2,4±0,08	2,4±0,08	2,5±0,08	2,8±0,10	2,8±0,10
4.	pH	5,9±0,1	5,8±0,1	5,8±0,1	5,7±0,1	5,6±0,1	5,6±0,1

Рациональным соотношением муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и порошкообразного полуфабриката якона в рецептурной смеси (на загрузку, в тесто), в масс. долях принята 62:8, что подтверждает полученные ранее результаты о влиянии ЯМ на хлебопекарные свойства.

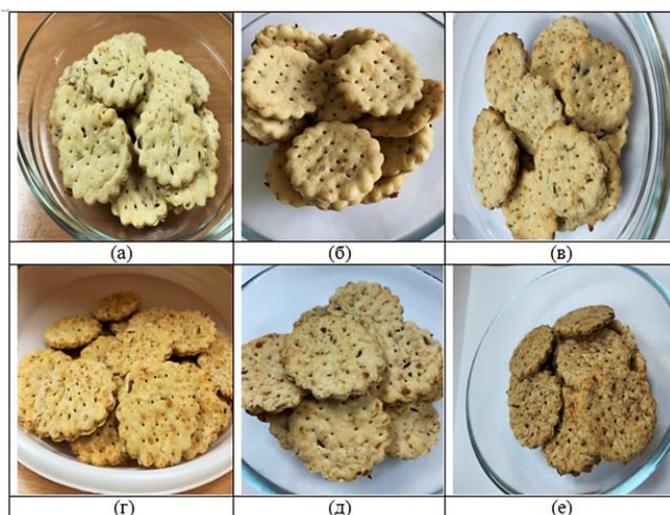


Рисунок 15 – Визуализация органолептических характеристик образцов кркера: а) контроль; б), в), г), д), е) при соотношении муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и ЯМ (на загрузку, в тесто), в масс. долях: 66:4; 64:6; 62:8; 60:10; 58:12 соответственно

Известно положительное влияние на жизнедеятельность дрожжевых клеток фосфора и магния. Интенсификация процесса позволяет сократить продолжительность созревания опары с 8 до 4-5 часов.

Для обоснования параметров технологии кркера с яконом изучено влияние ЯМ на процессы созревания опары и качество готовых изделий (рис. 16, 17, табл. 2).

В серии экспериментов ЯМ вносили в обоснованной ранее дозировке в тесто и на стадии приготовления опары. Влажность опары 35 %, температура брожения 28°C.

Изучали процессы газообразования и кислотонакопления в опаре (рис. 16, 17).

Внесение ЯМ в опару интенсифицирует процесс за счет присутствия в его составе редуцирующих сахаров, которые являются субстратом для дрожжевых клеток. Определенную роль играют макроэлементы ЯМ.

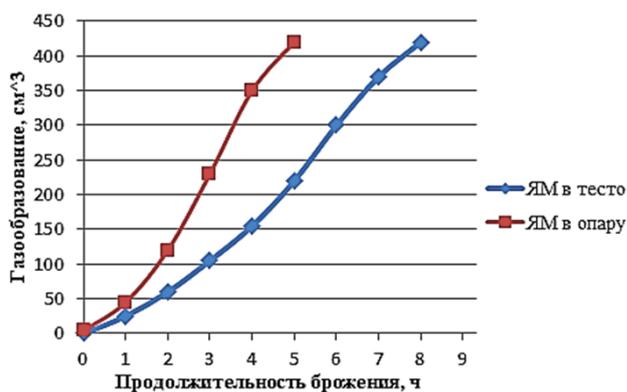


Рисунок 16 – Динамика газообразования в процессе брожения опары

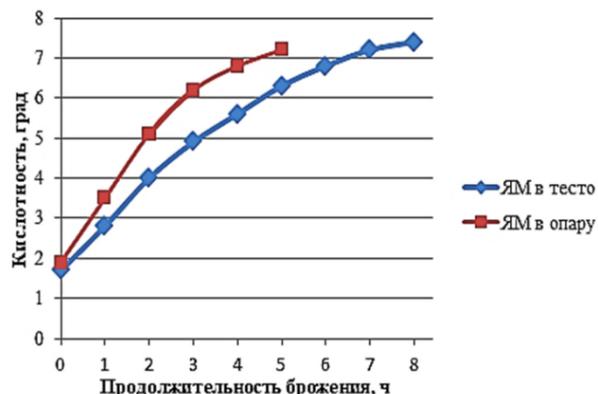


Рисунок 17 – Динамика кислотонакопления в процессе брожения опары

При этом необходимо отметить, что введение порошкообразного полуфабриката якона на стадии приготовления опары может привести к частичной потере обогащающего эффекта. Инулин, как пищевые волокна, под действием накапливаемых при брожении опары органических кислот, может частично гидролизироваться до моносахаридов. Последние активно потребляются дрожжами в процессе брожения. В связи с чем, выбор технологии должен быть обусловлен поставленной целью – для улучшения сенсорного восприятия продукта или для его обогащения.

Таблица 2 – Сравнительная оценка показателей крекера с внесением ЯМ на разных стадиях технологического процесса

Наименование показателя	Характеристика крекера		
	«С тмином»	с внесением ЯМ в тесто	с внесением ЯМ в опару
Массовая доля влаги, %	6,4±0,2	6,6±0,2	6,5±0,2
Намокаемость, %	156±3,9	164±4,2	168±4,3
Кислотность, град.	2,0±0,1	2,4±0,1	2,5±0,1
pH	6,0±0,1	5,8±0,1	5,7±0,1
Массовая доля золы, не растворимой в растворе соляной кислоты массовой долей 10 %, %	0,094±0,002	0,095±0,002	0,095±0,002



а)



б)



в)

Рисунок 18 – Образцы крекера: а) контроль, б) с внесением ЯМ в тесто; в) с внесением ЯМ в опару

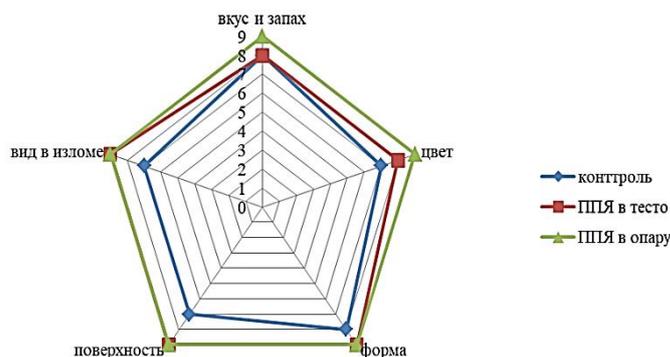


Рисунок 19 – Профилограмма органолептической оценки крекера

Для оценки крекера с позиций достижения поставленной цели – получения обогащенного изделия - изучен состав контрольного и опытных образцов (с внесением ЯМ в опару и тесте) (табл. 3)

Таблица 3 – Характеристика состава крекера

Наименование показателя	Характеристика крекера		
	«С тмином»	с внесением ЯМ в тесте	с внесением ЯМ в опару
Массовая доля редуцирующих веществ, %	2,0±0,06	3,0±0,09	2,1±0,06
Массовая доля общего сахара (в пересчете на сахарозу), %	2,4±0,06	3,3±0,1	2,2±0,06
Массовая доля белка в пересчете на сухое вещество, %	11,46±0,32	10,46±0,32	10,43±0,32
Массовая доля пищевых волокон в пересчете на сухое вещество, %	1,6±0,04	7,4±0,20	6,5±0,20
Содержание кальция, мг/100 г	26,42±0,8	42,9±1,0	42,5±1,0
Содержание фосфора, мг/100 г	107,1±3,2	116,6±3,3	115,6±3,2
Содержания магния, мг/100 г	23,1±0,6	33,0±1,0	32,9±1,0
Содержание марганца, мг/кг	4,95±0,14	5,26±0,14	5,38±0,14
Содержание железа, мг/кг	8,86±0,23	9,34±0,24	10,6±0,26
Содержание меди, мг/кг	2,13±0,06	4,0±0,10	4,22±0,10
Содержание цинка, мг/кг	6,65±0,18	9,05±0,25	8,48±0,23

Крекер с внесением в рецептурный состав ЯМ имеет более высокое значение моно и дисахаридов, уступает по содержанию белка. Аминокислотный скор белка контрольного и опытного образцов практически идентичен.

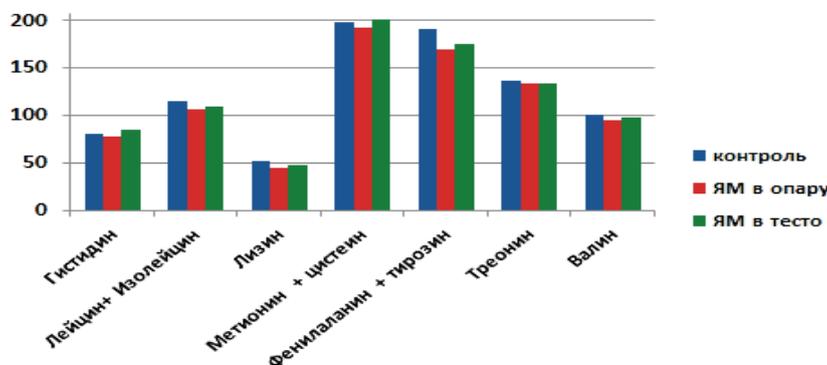


Рисунок 20 – Аминокислотный скор крекера, %

Основным преимуществом крекера с внесением в рецептурный состав порошкообразного полуфабриката якона является более высокое содержание пищевых волокон. Опытные образцы крекера отличаются повышенным содержанием макро- и микроэлементов (рис. 21).

Таким образом, сравнительная оценка качества крекера показала, что образцы крекера, вне зависимости от технологии, по органолептическим и физико-химическим характеристикам соответствуют требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 14033-2015 «Крекер. Общие технические условия». Сравнение опытных образцов показывает преимущество показателей качества крекера, приготовленного при внесении ЯМ в опару (табл. 2, рис. 19).

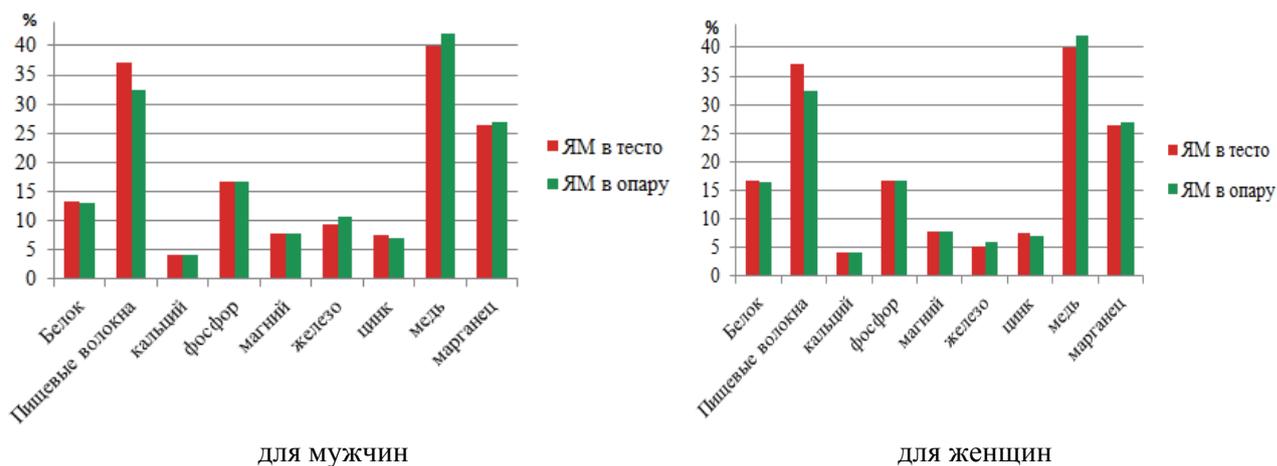


Рисунок 21 – Удовлетворение нормы физиологической потребности в пищевых веществах

По степени удовлетворения физиологических потребностей в пищевых веществах крекер, как с внесением ЯМ в тесто, так и в опару может быть идентифицирован как функциональный по пищевым волокнам, макронутриенту – фосфору и микронутриентам – марганцу и меди. Вывод может быть распространен на любые группы взрослого населения, так как отмеченные нутриенты имеют обобщенные нормы для всех категорий взрослого населения.

Для определения параметров хранения изучали динамику свойств крекера при использовании различных упаковочных материалов: картонной коробки «телевизор» (ГОСТ 32736-2014), запаянных пакетов из полипропилена и полиэтилена (ГОСТ 33837-2022). При проведении серии эксперимента поддерживали температуру 18 ± 5 °С, относительную влажность воздуха – не более 75 % (рис. 22).

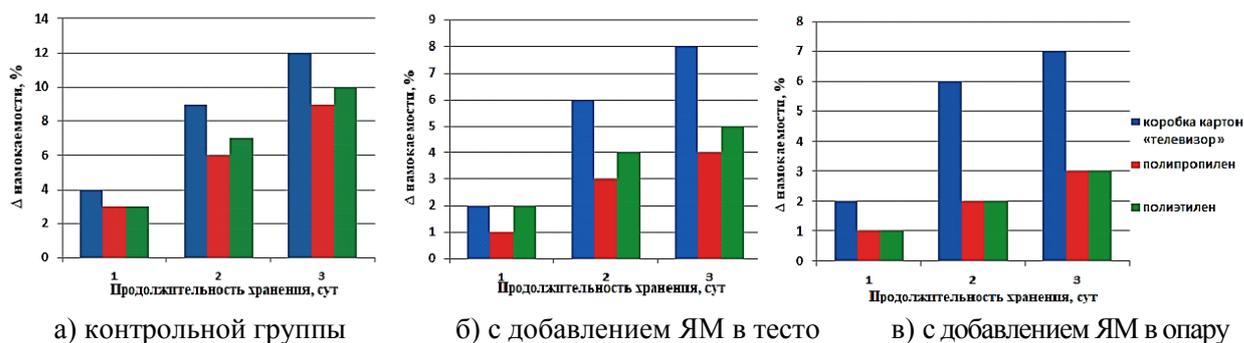


Рисунок 22 – Динамика намокаемости крекера при хранении в течение:
1 – 14 суток; 2 – 28 суток; 3 – 48 суток

Проведенные исследования (рисунок 22) показали преимущества полипропилена, как упаковочного материала и лучшую сохранность опытных образцов, что обусловлено водосвязывающей способностью пищевых волокон ЯМ.

На основе комплекса проведенных исследований, с учетом потерь на крекер с ЯМ разработана рецептура и скорректированы параметры технологического процесса.

Таблица 4 – Рецептура крекера с яконом

Наименование сырья	Содержание сухих веществ, %	Расход сырья на 1 т готовой продукции, кг	
		в натуре	в сухих веществах
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта	85,5	761,53	651,11
Сахарная пудра	99,85	4,10	4,10
Масло растительное (подсолнечное) дезодорированное	100,0	103,30	103,30
Соль поваренная пищевая	96,5	17,05	16,45
Порошкообразный полуфабрикат якона	89,0	98,26	87,45

Продолжение таблицы 4

Наименование сырья	Содержание сухих веществ, %	Расход сырья, кг на 1 т готовой продукции	
		в натуре	в сухих веществах
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (на опару)	85,5	120,81	103,30
Дрожжи хлебопекарные сухие	92,5	6,05	5,59
Тмин	100,0	18,14	18,14
Итого	-	1129,24	989,44
Выход	94,0	1000,0	940,0

Полученные при проведении исследований результаты были приняты при разработке ТУ 10.72.12-008-00492894-2023 КРЕКЕР «ЯКОН удачи» с тмином. Способ приготовления крекера апробирован в производственных условиях ООО «Вижер».

В четвертой главе обоснован выбор математического инструментария для проектирования структуры композитной смеси для производства обогащенного крекера в условиях нечетко заданных параметров смеси и вариации состава компонентов смеси, что позволило рассчитать оптимальную структуру смеси по критериям: максимальное содержание клейковины, максимальное содержание пищевых волокон; учтена нестабильность содержания нутриентов и оценено влияние этой нестабильности на функциональные свойства конечного продукта; проведен сравнительный анализ вариантов смеси на основе обобщённых показателей качества в аспекте пищевой ценности конечного продукта (крекера).

Для решения задачи использована модель условной оптимизации смеси в форме постановки задачи стохастического программирования с введением нечетких параметров. Результаты вычислительного эксперимента приведены в табл. 5, 6.

Таблица 5 – Состав смеси в форме модифицированного нечеткого решения, оптимизирован по содержанию пищевых волокон при нечетко заданном уровне клейковины и доле тмина

Наименование	Доля при $\alpha = 0$	Коэффициент при параметре α	Доля при $\alpha = 1$
Вариация содержания клейковины 0,05			
Мука пшеничная	0,870	0,070	0,940
Порошкообразный полуфабрикат якона	0,113	-0,072	0,041
Тмин	0,017	0,002	0,019
Клейковина	26,098	2,088	28,186
Пищевые волокна (макс)	7,848	-4,358	3,490

Таблица 6 – Состав смеси в форме модифицированного нечеткого решения, оптимизирован по содержанию клейковины при заданном уровне пищевых волокон и доле тмина

Наименование	Доля при $\alpha = 0$	Коэффициент при параметре α	Доля при $\alpha = 1$
Вариация содержания пищевых волокон 0,1			
Мука пшеничная	0,945	-0,013	0,932
Порошкообразный полуфабрикат якона	0,039	0,012	0,051
Тмин	0,016	0,001	0,017
Пищевые волокна	3,210	0,816	4,026
Клейковина (макс)	28,354	-0,402	27,952

Решения, представленные в табл. 5 и 6, показывают, что смесь удовлетворяет технологическим требованиям по содержанию клейковины и требованиям продукта функционального назначения по содержанию пищевых волокон. Решения представлены нечеткими числами, отражающими допустимые по уровню требований значениями, что

позволяет гарантированно выполнять требования к смеси с учетом, в том числе, фактора нестабильности содержания пищевых волокон и клейковины в компонентах смеси.

Для оценки устойчивости полученных оптимальных нечетких решений было проведено параметрирование по значению вариации содержания пищевых волокон (ПВ) в компонентах смеси. Анализ полученных результатов показывает, что решение устойчиво (рис. 23).

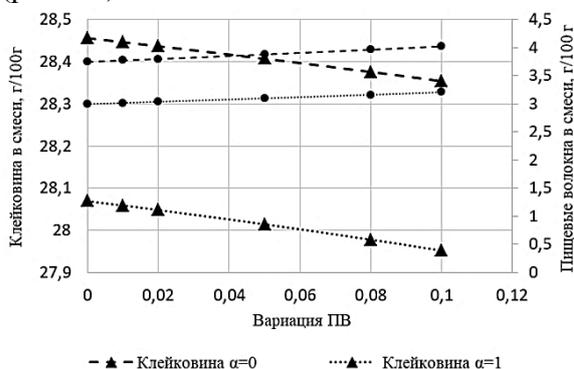


Рисунок 23 – Оптимальные значения клейковины в смеси с учетом вариации по содержанию пищевых волокон в компонентах

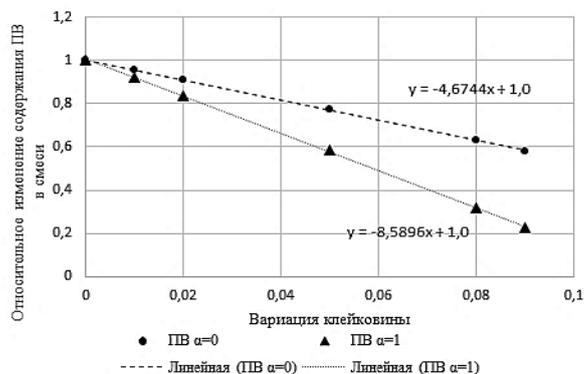


Рисунок 24 – Относительное изменение максимального содержания пищевых волокон в смеси с учетом вариации по содержанию клейковины в пшеничной муке

Рисунок 24 показывает, что чувствительность оптимального решения по максимизации пищевых волокон в смеси от величины вариации клейковины существенна. Поэтому предлагается оптимизировать клейковину при ограничениях на содержание пищевых волокон в смеси на уровне требований, предъявляемых к продуктам функционального назначения – до 3,75 г/100 готового продукта.

В пятой главе проведена оценка экономической эффективности способа производства крекера с яконом. Сделан расчет себестоимости 1 т крекера при различном уровне коммерческих расходов и торговой наценки. Рассчитанная розничная цена упаковки крекера с яконом ниже стоимости аналогичного по функциональным свойствам продукта, присутствующего на потребительском рынке: соответственно 101,46-110,28 руб. в сравнении с 163 руб. Что подтверждает экономическую целесообразность реализации технологии крекера с яконом.

Выводы

1. Установлен низкий уровень насыщения регионального потребительского рынка обогащенными мучными кондитерскими изделиями, лояльность потребителей к применению в качестве обогащающих ингредиентов нетрадиционных сырьевых источников при сохранении сенсорного восприятия этой группы продукции.

2. Показана технологическая целесообразность переработки якона в порошкообразный полуфабрикат. Установлено, что порошкообразный полуфабрикат якона характеризуется высоким содержанием, в %: инулина $56,6 \pm 1,40$, моно- и дисахаридов $17,3 \pm 1,40$, золы $5,1 \pm 0,2$ и клетчатки $5,5 \pm 0,11$. По показателям безопасности соответствует требованиям ТР ТС «О безопасности пищевой продукции»;

3. Спектральным анализом подтверждено, что основу порошкообразного полуфабриката якона составляют полисахариды: целлюлоза, инулин и их производные. В составе полимерных макромолекул, построенных из глюкопиранозных циклов, присутствуют гидроксильные, сложноэфирные, карбоксильные группы, а также азотсодержащие аминные и иминные группировки. Исследованиями кислотно-основной активности ЯМ установлена их способность проявлять как протон-донорные, так и протон-акцепторные свойства.

4. Установлено, что жиросвязывающая способность ЯМ увеличивается при уменьшении размера части (менее 63 мкм), на водосвязывающую способность и

растворимость гранулометрический состав (в пределах изученного интервала менее 315 мкм) практически не оказывает влияния; водосвязывающая способность ЯМ более чем в 4 раза превышает аналогичный показатель муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта.

5. Показано, что ЯМ оказывает влияние на хлебопекарные свойства, снижая количество клейковины и цвет и практически не влияя на качество клейковины. Для формирования качественных характеристик крекера, близких к традиционным, целесообразно рассматривать его дозировку, не превышающую 13 % от массы муки в тесто.

6. Исследованиями на лабораторных животных - крысах линии Wistar показано, что введение в их рацион ЯМ способствует улучшению состояния крови животных и профилактике возникновения дистрофических процессов в паренхиматозных органах.

7. Разработаны научно-обоснованная рецептура и способ получения крекера. Определено рациональное соотношение муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и ЯМ, в масс. долях 62:8 (на загрузку, в тесто). Обосновано применение опарной технологии крекера, целесообразность введения ЯМ в опару.

8. Изучены потребительские свойства крекера с ЯМ. Установлено его полное соответствие требованиям национального стандарта к этой группе изделий. Показано, что по степени удовлетворения суточной физиологической нормы по пищевым волокнам (29,6-37,0%), фосфору (16,6%), меди (40,0%) и марганцу (26,3%) крекер с ЯМ может быть отнесен к функциональному продукту. Определены регламентирующие уровни показателей качества ЯМ и крекера с ЯМ, параметры и упаковочные материалы для сохранности свойств продуктов, положенные в основу разработанной и утвержденной нормативной документации – ТУ 01.13.05–007–00492894–2022 Якон сушеный, ТУ 10.72.12-008-00492894-2023 КРЕКЕР «ЯКОН удачи» с тмином.

9. Выбран и апробирован математический инструментарий для оптимизации состава композитной смеси обогащенного крекера в условиях нечетко заданных параметров смеси и вариации состава ее компонентов.

10. Подтверждена экономическая целесообразность производства и реализации крекера с порошкообразным полуфабрикатом якона.

Публикации в рецензируемых научных изданиях

1. Вещественный и функциональный состав полуфабрикатов из якона и дайкона / Е.С. Корнева, О.В. Перегончая, О.В. Дьяконова [и др.] // Пищевая промышленность. – 2022. – № 7. – С. 93-96.

2. Дерканосова Н.М. Исследование функционально-технологических свойств полуфабриката якона / Н.М. Дерканосова, Е.С. Корнева, И.И. Зайцева // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2023. – № 3(80). – С. 23-28.

Публикация в SCOPUS.

3. In vivo experimental evaluation of functional food ingredient being powdered prefabricated acon / E.V. Mikhailov, A.V. Aristov, N.M. Derkanosova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming, Voronezh, 17–18 октября 2019 года. Vol. 422. – Voronezh: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012002.

Публикации в материалах конференций, научных журналах и сборниках научных трудов

4. Дерканосова, Н.М. Исследование лояльности потребителей к кондитерским изделиям с нетрадиционными сырьевыми ингредиентами / Н.М. Дерканосова, Е.С. Горпинченко // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2018. – № 1(10). – С. 7-12.

5. Корнева Е.С. Перспективы использования порошкообразного якона при производстве продуктов здорового питания / Е.С. Корнева, А.В. Аристов, О.А. Василенко // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2020. – № 1(14). – С. 42-45.

6. Korneva E.S. The prospect of using yacon raw materials in domestic technologies of flour confectionery products / E.S. Korneva, N.M. Derkanosova, A.S. Mingulova // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы VI международной научно-практической

конференции молодых ученых и специалистов (на иностранных языках). – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, 2020. – С. 221-223.

7. Корнева Е.С. Анализ региональных производителей мучных кондитерских изделий обогащённых пищевыми волокнами на примере Воронежского региона / Е.С. Корнева, Н.М. Дерканосова // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. – С. 320-324.

8. Пальчикова С.С. К вопросу измельчения якона / С.С. Пальчикова, Е.С. Корнева // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 73-й национальной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Часть I. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, 2022. – С. 491-496.

9. Дерканосова Н.М. Исследование функционально-технологических свойств порошкообразного полуфабриката якона / Н.М. Дерканосова, Е.С. Корнева // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2022. – № 2 (19). – С. 7-13.

10. Корнева Е.С. Применение якона в технологии крекера / Е.С. Корнева, Н.М. Дерканосова // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2023. – № 2(21). – С. 51-56.

11. Корнева Е.С. Кислотно-основные свойства продуктов переработки дайкона и якона / Е.С. Корнева, П.Ю. Курганников, О.В. Дьяконова // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XXVI международной научно-практической конференции. – Гродно: Гродненский государственный аграрный университет, 2023. – С. 253-255.

12. Корнева Е.С. Перспективы применения якона в технологии крекера [Текст] / Е.С. Корнева, Н.М. Дерканосова, С.А. Шеламова // Актуальные проблемы научного и технологического обеспечения инновационного развития: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. – Стерлитамак: АМИ, 2023. – С. 104-107.

Выражаю благодарность проф. В.К.Гинс и проф. М.С.Гинс (ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства») за предоставление партий якона, доц. Перегончей О.В.(ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) за консультирование по отдельным вопросам состава якона.