

ЛИТВИНОВА ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ
ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФОРТИФИЦИРОВАННЫХ МЯСНЫХ
ПРОДУКТОВ**

4.3.3. – «Пищевые системы»

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва–2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

Научный консультант: Академик РАН, доктор технических наук, профессор
Титов Евгений Иванович

Официальные оппоненты:

Глотова Ирина Анатольевна – доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, профессор

Борисенко Александр Алексеевич – доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», кафедра пищевых технологий и инжиниринга, профессор

Гущин Виктор Владимирович – член корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской академии наук, руководитель научного направления

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции»

Защита состоится «21» декабря 2023 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.257.01 на базе ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН по адресу: г. Москва, ул. Талалихина, 26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН и на сайте www.vniimp.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Захаров А.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Исследовательское агентство Workline Group оценило мотивацию покупателей при выборе пищевых продуктов. Как оказалось, если в конце 90-х начале 2000-ых гг. определяющей мотивацией для совершения покупки были стоимость (то есть были востребованы экономичные продукты) и необходимость в калорийной пище, то в настоящее время определяющей мотивацией является здоровье. Значимость мотивации «здоровье», которая лежит в основе растущего тренда потребления полезных продуктов, выросла в 8 раз за последние 18 лет.

Продукты для ЗОЖ (здорового образа жизни) – несомненный тренд существующих реалий. Известно, что здоровье человека обусловлено как генетической предрасположенностью, уровнем медицинского обеспечения, экологией, так и образом жизни (примерно на 50 %). В стремления населения к заботе о своем здоровье и поддержанию иммунной системы в значительной степени повлияла пандемия COVID-19. С ростом понимания влияния образа жизни на здоровье растет интерес к здоровому питанию на государственном уровне – активно разрабатываются стратегии и программы, направленные на оздоровление населения. Например, Распоряжение Правительства РФ № 1364-р от 29.06.2016 г «Стратегия повышения качества пищевой продукции в РФ до 2030 г.» указывает на необходимость создания условий для производства пищевой продукции нового поколения с заданными характеристиками качества. В контексте того, что спрос на здоровое питание растет с каждым годом на 15–20 %, переработка коллагенсодержащего сырья, позволяющая получить важные биологически активные ингредиенты, является перспективным вектором развития мясной отрасли. В этом же контексте, Указом Президента РФ №204 от 7 мая 2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации до 2024 г.» приняты национальные проекты «Здравоохранение» и «Демография» (Федеральный проект «Укрепление общественного здоровья»), которые определяют приоритетность поддержки качества жизни населения и развития здорового общества с целью достижения продолжительности жизни до 80 лет в краткосрочной перспективе (до 2030 г.). Объем российского рынка продуктов для ЗОЖ в 2023 г., по оценке DISCOVERY Research Group достигнет 1 трлн. руб. Мировой рынок, по мнению экспертов компании, будет расти более высокими темпами и к 2027 г. составит 17 трлн. руб. Реалии сегодняшнего дня способствуют трансформации привычек питания у современного потребителя. Согласно опросу, 74 % российских потребителей обращают внимание на состав продукта перед покупкой, 70 % готовы платить больше за продукты, обогащенные функциональными ингредиентами. Исследование компании Nielsen показало, что тренд на внимание к здоровью и безопасность продуктов сочетается с экономическим потреблением, т.е. потребитель готов приобрести меньшее количество более дорогостоящего продукта, если уверен в его натуральности и пользе для здоровья.

Побочное сырье, получаемое в результате переработки убойных животных и птицы, – ценный источник животного белка – коллагена, являющегося строительным материалом, необходимым для репарации тканей организма человека.

Статистические данные позволяют утверждать, что около 15 % белоксодержащих ресурсов мясной отрасли являются невостребованными. Особый интерес представляет коллагенсодержащее сырье, на долю которого приходится до 30 % общей массы белков, при выходе соединительной ткани 16 % к массе мяса на костях.

Фундаментальными исследованиями ряда ученых обосновано сходство физиологического воздействия пищевых волокон и коллагена. Теория рационального питания акад. А.М. Уголева показала и научно обосновала жизненно важную роль балластных веществ в метаболических процессах организма. В связи с этим, разработка способов трансформации белков соединительной ткани с целью улучшения их усвоения и переваривания – перспективный вектор развития пищевой промышленности.

Особую актуальность в данном контексте приобретает необходимость симбиоза усилий государства, бизнес-сообщества и науки на базе комплексного подхода, развития принципов пищевой комбинаторики и конвергенции пищевых и информационных технологий, позволяющих разрабатывать безопасную конкурентоспособную продукцию.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в теорию и практику переработки побочных продуктов различными методами и способами внесли российские и иностранные ученые – Л.В. Антипова, С.К. Апраксина, А.Н. Богатырев, А.С. Большаков, О.В. Бредихина, В.Г. Волик, И.А. Глотова, В.Н. Измайлова, А.И. Жаринов, Л.С. Кудряшов, В.Е. Куцакова, А.Б. Лисицын, О.Я. Мезенова, А.Д. Неклюдов, И.А. Рогов, А.А. Соколов, А.А. Семенова, А.И. Сницарь, Е.И. Титов, М.Л. Файвишевский, R.A. Lawrie, A. Veis, P. Hantzinger, G. Heinz, C. Warner и др. Изучением влияния методов обработки коллагенсодержащего сырья на свойства гидролизатов и ферментолитатов занимались А.А. Соколов, Н. А. Баер, А.В. Николаев, G. Neirat, K. Balye, Lu G, B. Jankowska, V.G. Moss, J.C. Trautman и др. Возможности использования модифицированного коллагенсодержащего сырья в технологиях пищевых производств, фармакологии и косметологии проводили А.А. Алексеев, Н.Н. Липатов (мл.), С.И. Хвьяля, А.М. Хилькин, Н.А. Ушакова, D. Pszczola, M. Santo, K. Yoshimura и др.

Научные представления о значимости усвояемой формы коллагена в питании человека указывают на необходимость создания теоретических основ ресурсосберегающих технологий и положений, направленных на повышение глубины его переработки при снижении продолжительности ферментолита для получения перевариваемой, усвояемой и безопасной для здоровья формы коллагенсодержащего сырья, представляется актуальным. Ретроспективный анализ использования принципов пищевой биотехнологии в направлении глубокого ферментолита коллагенсодержащего сырья позволяет утверждать о незначительных темпах внедрения в промышленное производство, что связано с недостаточной изученностью и дефицитом промышленно выпускаемых ферментных препаратов.

Специалистами отрасли, начиная с 1950 г. по настоящее время, разработан широкий спектр технологий использования коллагенсодержащего сырья в качестве: пищевого ингредиента, пленочных коллагеновых покрытий и оболочек, основы для косметических препаратов, направленных на анти-старение и анти-меланогенные изменения кожи, основы для ветеринарных противострессовых препаратов, в медицине для получения коллаген-гепариновых сосудистых протезов, коллагеновых материалов для быстрой репарации кожных покровов, интраокулярные коллагеновые пленки с гентамицина сульфатом и другие. Наибольшее распространение на сегодняшний момент получила технология использования коллагенсодержащего сырья при энергоемком производстве кормовой муки. Учитывая запрет для стран-членов Всемирной торговой организации на использование мясной, мясокостной и костной муки в производстве кормовых продуктов, как меры, ограничивающей распространения прионовых инфекций, необходимо разрабатывать новые технологии переработки или предусматривать иные пути использования побочного коллагенсодержащего сырья.

Целью диссертационной работы являлась разработка инновационных технологий обогащенных мясных и рыбных продуктов питания на основе развития научных представлений о глубокой переработке побочного коллагенсодержащего сырья и возможности сохранности биологически активных веществ (термолабильные пептиды, йод в органической форме, аскорбиновая кислота апикомпонентов) в технологическом цикле производства данного ассортимента продукции.

Основные задачи исследования:

1. Проанализировать теоретические аспекты, нормативно-техническую базу, методологию пищевой комбинаторики, направленную на создание продуктов питания с заданными свойствами.

2. Изучить существующие подходы к трансформации побочного коллагенсодержащего сырья, предложить новые ферментные препараты для протеолиза коллагенсодержащего сырья, исследовать их биокаталитические свойства.

3. Предложить современные подходы к развитию научных принципов гидролиза коллагенсодержащего сырья, направленный на глубокую переработку данного вида сырья и получение модифицированных продуктов с высокими функционально-технологическими свойствами, а также создание на их основе функциональных модулей, позволяющих сохранить термолабильные и легколетучие вещества в процессе термической обработки.

4. Разработать, теоретически и экспериментально обосновать рецептуры и частные технологии обогащенных мясных и рыбных продуктов, оценить показатели их нутриентной сбалансированности.

5. Разработать пакеты технической документации на предложенный ассортимент мясных и рыбных обогащенных продуктов питания, провести их промышленную апробацию и внедрить в производственный процесс предприятий.

Научная новизна работы.

Расширены научные знания глубокого ферментолиза коллагенсодержащего сырья с использованием базидиомицетов, позволяющие создавать ресурсосберегающие технологии переработки побочного сырья мясной и рыбоперерабатывающей отраслей пищевой промышленности.

Расширены теоретические сведения о биохимических и физико-химических характеристиках ферментных препаратов, обладающих коллагеназной активностью – коллагеназа из гепатопанкреаса камчатского краба, коллагеназа, продуцируемая грибом *Flammulina*. Проведена сравнительная оценка и получены закономерности направленного ферментолиза коллагенсодержащего сырья в зависимости от типа коллагена.

Предложена концепция сохранности биологически активных веществ в технологическом цикле производства продуктов питания при проектировании мясных и рыбных пищевых систем на основе возможности комплексообразования концевых групп модифицированного коллагена и легколетучих/ термолабильных нутриентов, что доказано методом дифференциально-сканирующей микрокалориметрии.

Представлена классификация функциональных модулей для использования в технологии мясных и рыбных пищевых систем на основе систематизации данных, отражающих взаимосвязь в цикле их производства вид белоксодержащих ингредиентов, характер предварительной обработки, условий и параметров технологических особенностей и функциональной направленности, что способствует развитию информационного обеспечения в области создания многокомпонентных продуктов питания на мясной и рыбной основах.

Определены зависимости изменения химико-технологических свойств (водосвязывающая способность, предельное напряжение сдвига, водо- и жирудерживающая способности, пластичность) от уровня замены мясного сырья на разработанные коллагеновые ферментоллизаты и функциональные модули.

На основе результатов биологических методов («in vitro», «in vivo») доказано, что разработанный подход к производству позволяет получить продукты питания высокой биологической ценности.

Теоретическая и практическая значимость.

– проведен теоретический скрининг источников растительного, животного и микробиального происхождения для возможного получения ферментных препаратов, обладающих коллагенолитической активностью; на основе результатов коллагенолитической активности в качестве источника выбран базидиомицет *Flammulina* и разработаны параметры получения коллагенолитического ферментного препарата;

– разработаны способы модификации побочного коллагенсодержащего сырья для получения продуктов ферментативной обработки с улучшенными функционально-

технологическими свойствами и показателями переваримости по сравнению с нативным сырьем;

- опираясь на принципы пищевой комбинаторики и современной нутрициологии, в соответствии с предложенной концепцией сохранности биологически активных веществ в технологическом цикле производства продуктов питания, разработаны, теоретически и экспериментально обоснованы рецептуры и технологии обогащенных мясных и рыбных продуктов, оценены показатели их нутриентной сбалансированности;

- разработаны рецептуры и технологии фортифицированных мясных и рыбных продуктов сбалансированного нутриентного состава с использованием функциональных ингредиентов на матричной коллагеновой основе: биологически активные вещества апикомпонентов, йод фукуса, полиненасыщенные жирные кислоты, микро- и макроэлементы);

- разработаны и утверждены пакеты технической документации на: изделия вареные колбасные с биологически активным комплексом (ТУ 9213-007-02068634-15); продукты из свинины с биологически активным комплексом (ТУ 9213-009-02068634-15); мясные рубленые полуфабрикаты с функциональным модулем (ТУ 9216-008-02068634-17); паштеты из мяса птицы стерилизованные с использованием многофункционального комплекса (ТУ 9216-009-02068634-17); мясные рубленые полуфабрикаты из говядины (ТУ 10.89.19-001-55260136-2020).

- в производственных условиях ОАО «Мясокомбинат Раменский» (Московская обл., г. Раменское), АО «Новая столица» (Московская обл., г. Егорьевск), ЗАО «Ялтинский мясокомбинат» (г. Ялта) проведена промышленная апробация разработанных мясных продуктов и технологии внедрены в производственный цикл предприятий, что подтверждают акты внедрения.

- экономический эффект от внедрения технологии биотрансформации рубца может составить (в ценах II полугодия 2019 г.) более 80 млн. руб. в год;

- результаты исследования используются в учебном процессе при подготовке выпускников уровня бакалавриата и магистратуры по направлениям 19.03.03, 19.04.03 «Продукты питания животного происхождения».

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертация соответствует пунктам 5, 10, 11, 12, 13 паспорта специальности 4.3.3. – «Пищевые системы».

Личный вклад автора.

Диссертационная работа выполнена лично автором или при его непосредственном участии, является научным трудом обобщенных аналитических и экспериментальных исследований за многолетний (12-летний) период. Автором лично проведен теоретический скрининг, предложена методология работы, определены цель и задачи, разработана научная концепция, получены и проанализированы экспериментальные результаты, промышленная апробация, разработаны пакеты технической документации.

Положения, выносимые на защиту.

Теоретический и практико-ориентированный подход создания ресурсосберегающих технологий с использованием новых источников продуцирования ферментных препаратов, обладающих коллагенолитической активностью.

Новые данные, отражающие закономерности направленного ферментолита коллагенсодержащего сырья, в зависимости от типа коллагена.

Классификация функциональных модулей для использования в технологии мясных и рыбных пищевых систем на основе систематизации данных, отражающих взаимосвязь в цикле их производства вид белоксодержащих ингредиентов, характер предварительной обработки, условий и параметров технологических особенностей и функциональной направленности.

Научная концепция сохранности биологически активных веществ в технологическом цикле производства продуктов питания на основе возможности комплексообразования концевых групп модифицированного коллагена и легколетучих/термолабильных нутриентов.

Технологические решения фортификации мясных и рыбных продуктов с функциональных модулей и результаты исследования *in vivo* как доказательная база высокой биологической ценности разработанных пищевых продуктов.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Степень достоверности результатов исследований подтверждается уровнем экспериментальных исследований с использованием современных методов исследований и приборно-измерительной техники, промышленной апробацией работы. Обработка экспериментальных данных осуществлялась методами математической статистики. Повторность анализов при выполнении экспериментальных исследований 3-х кратная, количество параллельных определений – 3-5-ти кратное. Использовали критерий Стьюдента на уровне значимости $p=0,05$.

Основные положения работы и результаты исследований были представлены международных и всероссийских научных, научно-практических конференциях, форумах, симпозиумах: г. Москва (2013, 2014, 2015, 2018, 2019, 2020 гг.); г. Волгоград (2014, 2015, 2017, 2022 гг.); г. Калининград (2017 г.); г. София, Болгария (2018, 2019 гг.); г. Владивосток (2019 г.); г. Воронеж (2018, 2019, 2020 гг.); г. Барнаул (2022 г.).

Результаты работы отмечены дипломами и медалями:

- Золотая медаль и диплом за разработку «Биомодифицированное коллагенсодержащее сырье как основа для создания биологически активного комплекса» – в рамках Московского международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития», Москва, 2014.

- Золотая медаль и диплом за инновационную технологию многофункционального белоксодержащего комплекса, обогащенного минорными нутриентами для мясных продуктов представленную на Всероссийском смотре-конкурсе лучших пищевых продуктов, продовольственного сырья и инновационных разработок, Волгоград, 2015.

- Золотая медаль и диплом за разработку технологии поликомпонентного продукта профилактического назначения на основе мяса птицы и минорных компонентов, представленную на «Всероссийском смотре-конкурсе пищевых продуктов, продовольственного сырья и инновационных разработок», Волгоград, 2016.

- Золотая медаль и диплом за разработку технологии колбасных изделий пониженной жирности, представленную на «Всероссийском смотре-конкурсе пищевых продуктов, продовольственного сырья и инновационных разработок», Волгоград, 2017.

- Диплом I степени за разработку технологии производства стерилизованных консервов из мяса птицы функциональной направленности, представленную на «Международном смотре-конкурсе лучших инновационных разработок AGRITECH-2020», Красноярск-Волгоград, 2020.

- Диплом I степени за создание функциональных мясных продуктов длительного хранения, в том числе, сублимированных, обогащенных биологически активными белками и пептидами животного происхождения, представленную на «Международном смотре-конкурсе лучших инновационных разработок AGRITECH-2022», Волгоград, 2022.

Практические аспекты применения разработанной методологии использованы в рамках работ по грантам: МК-6306.2018.11 «Создание специализированных мясных и рыбных продуктов питания пролонгированных сроков годности с использованием модулей с заданным составом и свойствами»; МК-1813.2020.11 «Создание функциональных мясных продуктов питания длительного хранения, в том числе сублимированных, обогащенных биологически активными белками и пептидами, выделенными из крови убойных животных

и молока»; государственного задания высшим учебным заведениям и научным организациям Минобрнауки РФ 15.7579.2017/БЧ «Разработка биотехнологии продуктов общего и функционального назначения на основе биомодификации сырья животного, растительного, в т.ч. вторичного нетрадиционного происхождения, обеспечивающей импортозамещение».

Публикации.

По результатам исследований, изложенных в диссертационной работе, опубликовано 83 печатные работы, в том числе 18 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, 11 статей в журналах, входящих в базу цитирования Scopus и Web of Science, получен патент на изобретение, издано 2 учебных пособия, 10 методических указаний.

Структура и объем диссертации.

Диссертация изложена на 303 страницах основного текста, включает 6 глав, среди которых, введение, аналитический обзор литературы, материалы и методы исследований, результаты исследований и их обсуждение, выводы и предложения, 6 приложений. Материал включает 68 рисунков и 79 таблиц. Список литературы состоит из 327 источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **главе 1 «Аналитический обзор литературы»** систематизированы результаты анализа материалов научно-технической информации, затрагивающих вопросы решения проблемы состояния мясной отрасли, создания обогащенных продуктов питания. В частности, согласно статистическим данным 2018 г. количество побочных продуктов, не используемых на пищевые цели, составило около 700 тыс. т /год. Опираясь на мнения экспертов о том, что планируется увеличить к 2030 г. производственные мощности убойного скота до 16 млн т/год, объем коллагенсодержащего сырья может достигнуть 4 млн т/год.

Данная глава также содержит информацию о строении и свойствах коллагена, способах получения коллагеновых препаратов, их применении в отраслях пищевой промышленности. Рассмотрены свойства, особенности и направления применения биологически активных веществ апикомпонентов, животного и растительного происхождения для использования в технологии мясных и рыбных продуктов питания.

Во **второй главе «Методология и методы экспериментальных исследований»** представлены объекты, методы исследования, а также информация, позволяющая определить основные подходы к формированию функциональных продуктов: нутриентная сбалансированность; выделение макро- и микронутриентов из сырья растительного и животного происхождения, относящиеся к группе функциональных ингредиентов; введение в рецептуры продуктов массового потребления биологически активных веществ натурального происхождения для профилактики алиментарно-зависимых заболеваний, обеспечение сохранности биологически активных веществ в технологическом цикле производства продуктов питания.

Объектами исследований служили с содержанием белка в пересчете на коллаген, %: мясная обрезь (24,12), рубец (58,86), легкое (43,19), губы (24,18) КРС; свиная шкура (58,38); кожа карпа (42,08); продукты ферментативной обработки (ПФО), полученные в результате биомодификации коллагенсодержащего сырья по разработанному способу; функциональные модули (ФМ); мясные продукты с/без ФМ.

В работе использовались следующие методы исследований: массовую долю влаги определяли – по ГОСТ 33319-2015; массовую долю белка – ГОСТ 25011-2017; массовую

долю жира – по ГОСТ 23042-2015; массовую долю золы – по ГОСТ 31727- 2012 (ISO 936:1998); массовую долю углеводов – расчетным методом; аминокислотный состав – с помощью газо-жидкостной хроматографии по ГОСТ 34132-2017, жирнокислотный состав – с помощью газовой хроматографии по ГОСТ Р 55483-2013. Определение влагосвязывающей способности – планиметрическим методом прессования по Г. Грау и Р. Хамм в модификации В.П. Воловинской и Б.И. Кельман; определение водоудерживающей и жирудерживающей способности – по методу Н.Н. Липатова-мл.; определение оксипролина – колориметрическим методом Ньюмана и Логана; пенообразующая способность, стабильность пены – механическим методом В.В. Колпаковой; пластичность – расчетным способом; определение предельного напряжения сдвига – по ГОСТ Р 50814-95; определение величины pH – потенциометрическим методом по ГОСТ Р 51478-99 (ISO 2917-74); содержание пищевой соли по ГОСТ 9957-2015; определение остаточного содержания нитрита натрия – по ГОСТ 29299-92 (ISO 2918-75); интенсивность и устойчивость окраски – фотометрическим способом и методом цветометрического контроля качества мяса и мясных продуктов в системе C1E1_ab на приборе «Hunter Lab 10/D65»; напряжение среза, работа резания определяли на универсальной испытательной машине «Instron – 1140» с использованием приставки «Kramer Shear Press»; индекс диспергируемого белка определяли, оценивая количество белка, диспергированного в воде или щелочи после смешивания образца в высокоскоростном смесителе; определение перекисного числа – по ГОСТ 34118-2017; определение тиобарбитурового числа – дистилляционным методом по ГОСТ Р 50457-92 (ISO 660-83); содержание йода – титриметрически по ГОСТ 31660-2012; содержание аскорбиновой кислоты – по ГОСТ 34151-2017; содержание инулина – с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии на рефрактометрическом детекторе «Nikst» (Германия) с применением смол Дауэкс; протеолитическую активность ферментного препарата – модифицированным методом Ансона; коллагенолитическую активность ферментного препарата – нингидриновым методом; токсичность изучали на тест-объектах инфузориях *Tetrachimena piriformis*; SDS-PAGE выполняли с использованием устройства для электрофореза Bio-Rad Mini-Protean (Bio-Rad Laboratories, США); определение молекулярной массы белка – вискозиметрическим методом; выход готового продукта – весовым методом по разности массы до и после термической обработки; активность воды – согласно методическими указаниями ГОУ ВПО «МГУПБ» 2008 г.; гистологические исследования – по ГОСТ 19496-2013; КЭБ – ростовым методом, основанным на оценке скорости роста лабораторных животных. Структуру образцов на молекулярном уровне изучали при помощи Фурье-спектроскопии с использованием ИК-Фурье спектрометра ALPHA фирмы Bruker, (США) с модулем однократного нарушенного полного внутреннего отражения с алмазным кристаллом, предназначенного для универсального базового спектрального анализа в среднем ИК-диапазоне от 375 до 7500 см⁻¹. Переваримость белков «in vitro» методом Покровского-Ертанова на модифицированном приборе. Руководствуясь ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 034/2013 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции», МУК 4.2.2747-10 «Методы санитарно-паразитологической экспертизы мяса и мясной продукции», проводили микробиологические исследования и изучали показатели безопасности разработанных продуктов питания». Органолептическим испытаниям подвергали образцы в соответствии с ГОСТ 9959-2015, выход готового продукта устанавливали весовым методом. Полученные результаты обрабатывали, используя общепринятые методы вариационной статистики с применением программ Statistica 13 и TableCurve 3D. Опыты по сублимационной сушке продуктов проводили в Лаборатории сублимационной сушки ФГБОУ ВО РосБИОТЕХ на экспериментальном стенде для вакуумной сублимационной сушки СВП – 036.

Общая схема исследований представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Общая схема исследований

В третьей главе «Инкорпорирование современных данных наилучших доступных технологий для глубокой переработки побочного коллагенсодержащего сырья» представлены предлагаемые принципы и подходы глубокой переработки коллагенсодержащего сырья для его дальнейшего использования.

Среди основных современных и наиболее перспективных подходов к переработке побочного коллагенсодержащего специалисты отрасли выделяют: высокотемпературная кратковременная обработка (до 250 °С в течение не более 180 с); использование ферментных препаратов.

Потребность в животном белке для питания населения РФ составляет 1 800 тыс. т/год.

Используемые в настоящее время коллагеназы имеют ряд существенных недостатков. Наиболее известный продуцент коллагеназы – бактерия *Clostridium histolyticum* является возбудителем гангрены, вследствие чего предъявляются повышенные требования безопасности на всех стадиях производства и реализации продукции. При получении коллагеназы из камчатского краба используется только гепатопанкреас (орган, совмещающий функции печени и поджелудочной железы), что приводит к образованию большого количества отходов, которые в дальнейшем необходимо утилизировать. Коллагеназа из гепатопанкреаса камчатского краба безопасна для человека, но значительное различие в степени чистоты и активности в зависимости от производственной партии несколько ограничивает ее применение.

Наиболее значимой представляется проблема поиска продуцентов коллагеназ, у которых отсутствовали бы перечисленные выше недостатки. На предмет соответствия этим требованиям был проведен скрининг базидиомицетов, отличающихся высоким уровнем коллагенолитической активности, который проводился среди базидиомицетов, относящихся к родам: *Gordyceps*, *Lentinula Edodes*, *Flammulina*, *Ganoderma* *Lusidum* и *Hericium Erinaceus*. Перечисленные грибы являются источниками функциональных ингредиентов, среди которых, полифенолы, которые обладают омолаживающими свойствами, повышают выносливость и результативность спортсменов, аминокислота эрготионеин, проявляющая свойства антиоксиданта, противовоспалительного средства, другие оптимизируют работу мозга, контролируют уровень стресса и т.д. Мировой рынок грибов в 2021 г. оценивался в 50 млрд. долл, по прогнозам к 2028 г. составит 100 млрд. долл.

Литературные данные позволяют утверждать, что в качестве объекта можно использовать гриб *Flammulina*, поскольку он обладает коллагеназной активностью. *Flammulina* (зимний опенок) – съедобный гриб семейства Физалакриевые, безопасен, является деструктором, возвращая минеральные вещества в почву и воду, делая их доступными для продуцентов-автотрофов, тем самым замыкая биотический круговорот.

Фермент выделяли из нативного раствора глубинной культуры базидиомицета *Flammulina* в три стадии (рисунок 2).



Рис. 2. Схема получения ферментного препарата из культуры базидиомицета

Для определения оптимального значения рН и температурного оптимума ферментативной активности, к 1%-ому раствору препарата в буферных растворах с различным значением рН, добавляли суспензию коллагена и помещали на 1 сут в термостат при температуре 38 °С. При комнатной температуре коллагеназа Flammulina демонстрировала высокую стабильность в диапазоне рН 4,5–10,5 (таблица 1), в крайних же значениях рН (рН 4,5 и 10,5) зафиксировано снижение после 24 ч инкубации.

Данные таблицы 1 указывают на инактивацию коллагеназы Flammulina под воздействием различных температурах в диапазоне рН 5,0–7,0. При 30–50 °С препарат являлся относительно стабильным в течение 2 ч инкубации. Повышение температуры до 70 °С приводило к инаktivации ферментного препарата. При совместном воздействии температуры 70 °С, наличии пищевой соли наблюдалась быстрая инаktivация ферментного препарата.

Таблица 1 – Инаktivация коллагеназы базидиомицета при различных температурах (рН 5,0–7,0)

Время инкубации, мин	Остаточная активность, %				
	30°	40°	50°	60°	70°
0	100	100	100	100	100
5	100	100	100	71	26
10	100	100	100	60	–
20	98	95	89	43	–
30	97	96	91	38	–
40	95	96	91	34	–
60	94	93	80	30	–
80	94	93	80	21	–
100	93	91	75	15	–
120	93	91	68	11	–

Согласно результатам исследования, рН-оптимум полученного ферментного препарата находился в интервале рН 5,5–7,5. Температурный оптимум препарата наблюдался в области 25–38 °С.

Следующий этап работы посвящен изучению влияния среды на способность продуцирования препарата грибом Flammulina при культивировании на средах с различными источниками и соотношениями углерода и азота (рисунки 3–5).

Выращивание Flammulina на питательной среде сопровождалось изменением рН от 5 к 8.

Самые высокие значения массовой доли белка (3,2–3,5 г/л) в культуральной жидкости базидиомицета зафиксированы на 6-ые сут культивирования Flammulina на глюкозо-пептонной питательной среде с соотношением источников углерода и азота 2:1.

Не менее высокие значения данного показателя отмечены на 7-ые сут глубинного культивирования Flammulina на среде с пептоном при соотношении источников углерода и азота 10:1. На средах, в которых в качестве источника азота использовали нитрат аммония, содержание белка было незначительным по сравнению с культивированием на других анализируемых средах – 0,3–0,5 г/л.

Наименьшая коллагенолитическая активность характерна при культивировании базидиомицета на среде с нитратом аммония в качестве источника азота.

Для этой же питательной среды установлено самое незначительное изменение коллагенолитической активности продуцента в зависимости не только от соотношения источников углерода и азота, но и от продолжительности культивирования.

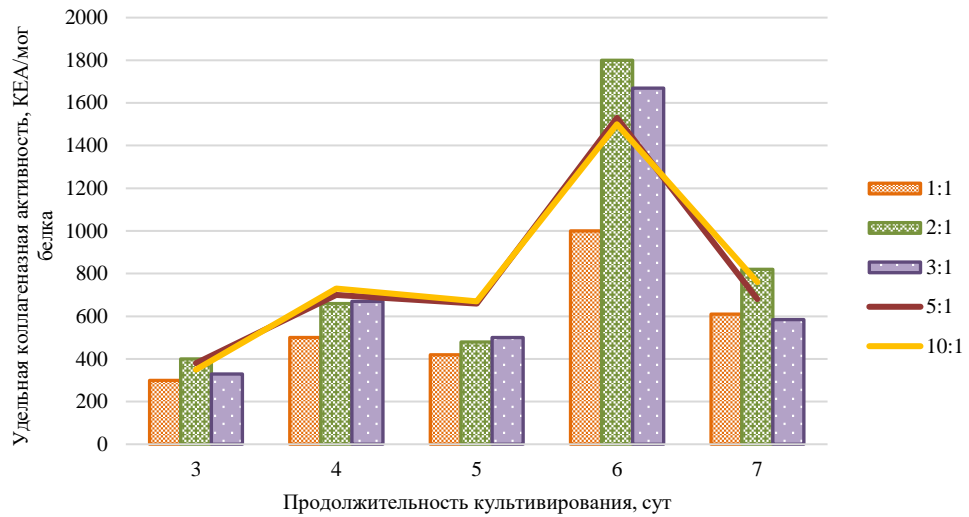


Рис. 3. Коллагенолитическая активность базидиомицета при росте на глюкозо-пептонной среде

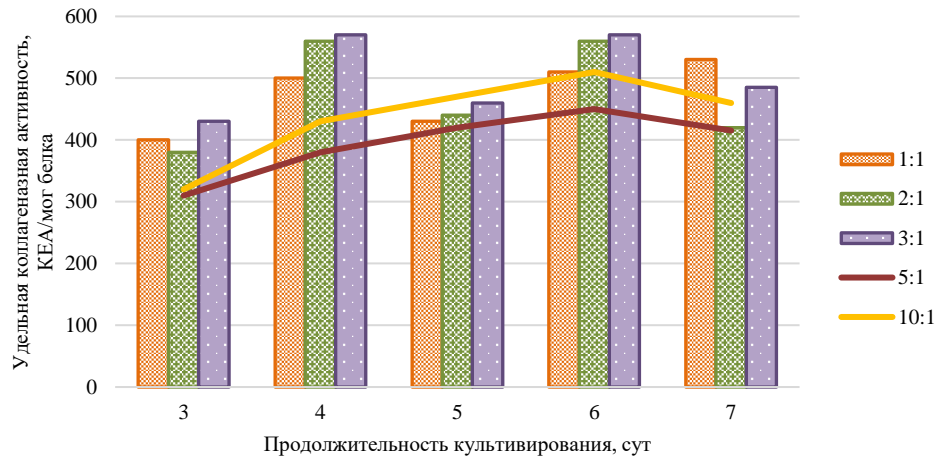


Рис. 4. Коллагенолитическая активность базидиомицета при росте на среде с нитратом аммония

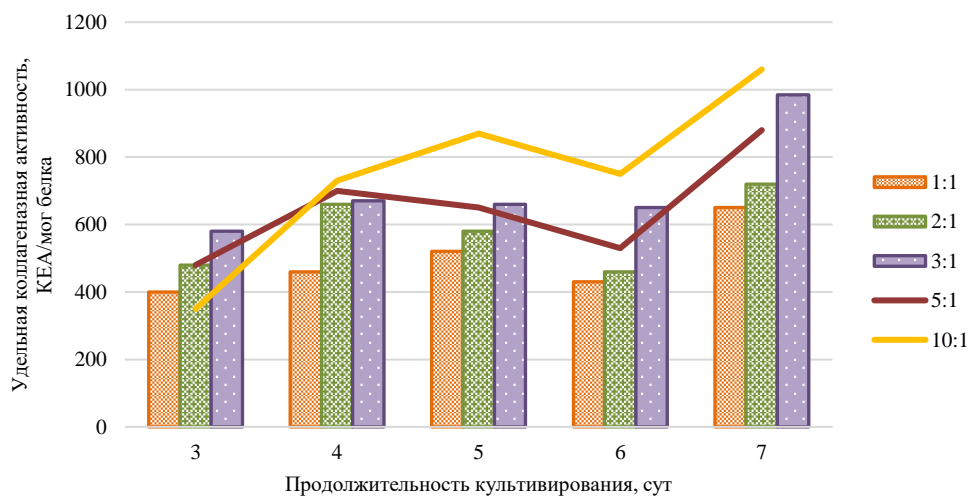


Рис. 5. Коллагенолитическая активность базидиомицета при росте на среде с пептоном

Свойства разработанного препарата по отношению к субстратам является важной составляющей для его дальнейшего использования в технологии пищевых систем.

Химические соединения, которые используются в технологическом цикле производства мясных продуктов (пищевая соль, нитрит натрия), могут выступать активаторами протеолитической активности ферментных препаратов, а могут быть и ингибиторами, то есть, оказывать подавляющее действие. Активность ферментов определяли по количеству прореагировавшего субстрата или по накоплению продуктов реакции в единицу времени.

Реакционную смесь инкубировали при 28 °С. Субстратами служили: казеинат натрия, коллаген и эластин. При подготовке субстрата вносили NaCl в таком количестве, чтобы в реакционной смеси (после внесения раствора фермента) его концентрация составила до 4 %, что распространено для практического применения в традиционных технологиях мясных продуктов. Известно, что при высоких концентрациях NaCl выступает в роли ингибитора неконкурентного вида, которое связано с влиянием ионной силы раствора на состояние полярных группировок в структуре белка фермента, изменение степени ионизации которых может приводить к изменению конформации белковой молекулы вообще и активного центра фермента.

Для определения влияния пищевой соли на протеолитическую активность коллагеназы *Flammulina*, была определена активность фермента в диапазоне концентраций NaCl от 0 до 4 % (рисунок 6).

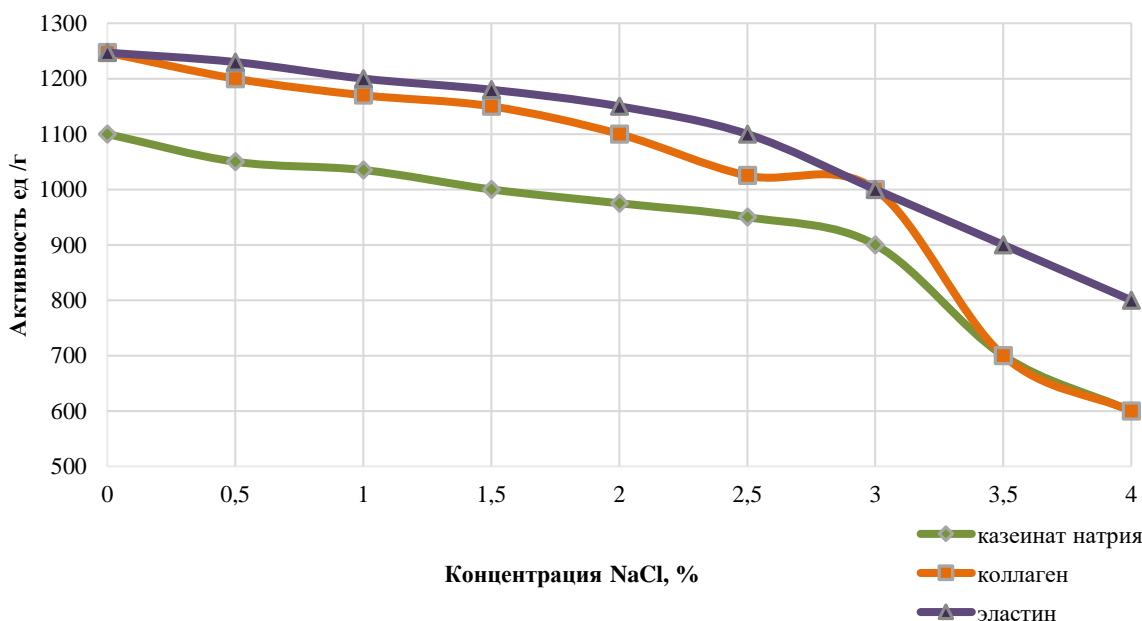


Рис. 6. Влияние концентрации пищевой соли на активность коллагеназы базидиомицета в зависимости от субстрата

Концентрации NaCl до 1,5 % приводят к небольшому снижению активности фермента. При концентрациях пищевой соли более 1,5 % происходит ингибирование ферментного препарата, которое достигается при 4 % от начальной активности принятой за 100 %, что связано с влиянием ионной силы раствора на состояние полярных группировок в структуре белка фермента, изменение степени ионизации, которых может приводить к конформации белковой молекулы в целом, и активного центра фермента в частности, что неизбежно сказывается на активности фермента.

При подготовке субстрата вносили NaNO_2 в таком количестве, чтобы в реакционной смеси (после внесения раствора фермента) его концентрация составила требуемую в технологии колбасного производства величину (рисунок 7).

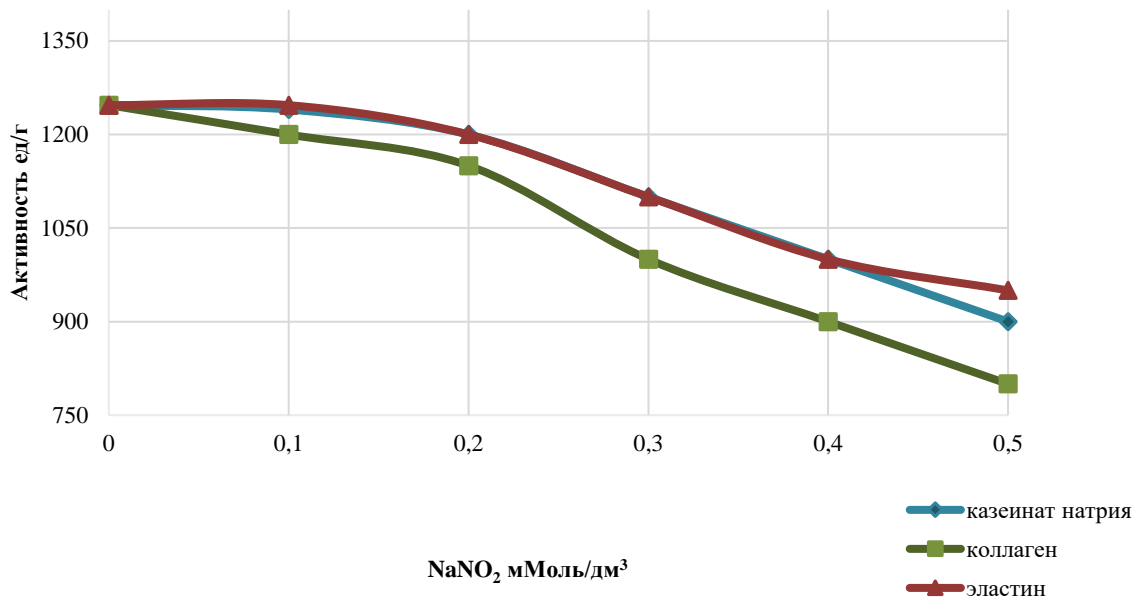


Рис. 7. Влияние концентрации нитрита натрия на активность коллагеназы базидиомицета в зависимости от субстрата

Результаты исследований, представленные на рисунке 7, позволяют утверждать, что присутствие в реакционной среде нитрита натрия в количествах до $0,5 \text{ ммоль/дм}^3$, применяемых на предприятиях мясной отрасли, способствует проявлению ингибирования ферментного препарата на исследованных субстратах. Например, в $0,5 \text{ ммоль}$ раствора ингибирование протеолитической активности составило 15 %.

Ферментный препарат использовали для получения коллагеновых ферментолитатов. Далее представлены результаты ферментолитата на примере мясной обрезки, рубца, губ, легкого КРС, свиной шкуры, кожи карпа.

Для простоты восприятия результатов, вариантам обработки были присвоены номера от 1 до 8 по возрастанию, соответственно: №1 – $0,01/2$; №2 – $0,05/2$; №3 – $0,10/2$; №4 – $0,20/2$; №5 – $0,01/4$; №6 – $0,05/4$; №7 – $0,10/4$; №8 – $0,20/4$.

Анализ приведенных в таблице 2 данных показывает, что количество влаги в образцах ЛФО №1 и 2 было близко к значению для нативного сырья, что связано с начальной стадией диспергирования сырья при ферментолитате. В образцах ЛФО №7 и 8 количество влаги было максимально. При обработке всех других объектов исследования раствором коллагеназы происходило увеличение содержания влаги в ПФО на их основе, по сравнению с исходным сырьем.

Потери белковых веществ для всех образцов при концентрации коллагеназы $0,01 \%$ и $0,05 \%$, независимо от продолжительности обработки, были небольшими и составили, например, для РФО и ОФО №5 – $1,78 \%$ и $2,98 \%$, соответственно. Увеличение концентрации ферментного препарата приводило к интенсификации деструктивных изменений коллагеновых волокон и достигло максимума при концентрации коллагеназы $0,10$ и $0,20 \%$.

Таблица 2 – Влияние ферментативной обработки на изменение содержания белка и влаги в объектах исследования

Показатели, %	Нативное сырье	Варианты ферментативной обработки							
		0,01/2	0,05/2	0,10/2	0,20/2	0,01/4	0,05/4	0,10/4	0,20/4
Легкое крупного рогатого скота									
Содержание белка	14,23 ±0,42	11,51 ±0,34	11,52 ±0,35	11,68 ±0,35	10,90 ±0,36	11,06 ±0,37	11,28 ±0,37	11,53 ±0,38	11,91 ±0,39
Потери белка	–	2,72	2,73	2,54	3,32	3,1	2,94	1,69	1,31
Содержание влаги	80,05 ±2,36	80,05 ±2,36	81,02 ±2,39	82,53 ±2,46	82,66 ±2,46	82,76 ±2,45	85,64 ±2,59	86,12 ±2,59	87,06 ±2,68
Рубец крупного рогатого скота									
Содержание белка	17,01 ±0,50	15,92 ±0,48	16,12 ±0,48	16,31 ±0,47	16,58± 0,46	15,23± 0,48	16,07± 0,48	16,26 ±0,47	16,51± 0,45
Потери белка	–	1,09	0,86	0,70	0,43	1,78	0,94	0,75	1,80
Содержание влаги	81,03 ±2,39	71,02 ±2,21	75,28 ±2,10	76,95 ±2,00	77,31 ±2,16	73,65 ±2,17	74,91 ±2,20	75,77 ±2,23	78,07 ±2,42
Мясная обрезь крупного рогатого скота									
Содержание белка	19,20 ±0,57	16,23 ±0,53	16,37 ±0,52	17,09 ±0,48	17,75 ±0,51	16,21 ±0,54	16,45 ±0,53	17,31 ±0,51	17,81 ±0,52
Потери белка	–	2,96	2,80	2,10	1,44	2,98	2,74	1,88	1,38
Содержание влаги	58,50 ±1,72	59,06 ±1,74	64,48 ±1,90	70,66 ±2,08	71,91 ±2,12	63,83 ±1,88	64,29 ±1,90	66,47 ±1,96	72,56 ±2,14
Губы крупного рогатого скота									
Содержание белка	14,15 ±0,42	12,00 ±0,42	13,05 ±0,42	13,41 ±0,41	13,74 ±0,51	11,20 ±0,49	10,00 ±0,30	10,18 ±0,30	9,84 ±0,29
Потери белка	–	2,15	1,10	0,74	0,41	2,95	2,15	3,97	4,31
Содержание влаги	80,15 ±2,38	79,25 ±2,35	80,85 ±2,40	81,14 ±2,41	80,24 ±2,38	82,09 ±2,32	85,80 ±2,55	85,77 ±2,55	86,65 ±2,57
Свиная шкура									
Содержание белка	17,34 ±0,38	14,12 ±0,56	14,89 ±0,38	15,14 ±0,31	15,71 ±0,37	12,18 ±0,35	11,67 ±0,83	11,81 ±0,56	10,39 ±0,48
Потери белка	–	3,22	2,45	2,20	1,63	5,16	5,67	5,53	6,95
Содержание влаги	75,95 ±1,13	74,33 ±1,10	80,35 ±2,11	82,15 ±1,78	85,33 ±1,11	85,56 ±2,11	86,21 ±1,73	87,12 ±1,98	87,84 ±1,34
Кожа карпа									
Содержание белка	16,23 ±0,22	14,10 ±0,33	14,83 ±0,51	15,13 ±0,53	15,91 ±0,46	12,82 ±0,22	12,37 ±0,31	11,53 ±0,29	10,20 ±0,34
Потери белка	–	2,13	1,40	1,10	0,32	3,41	3,86	4,70	6,03
Содержание влаги	79,03 ±2,39	73,08 ±2,86	80,23 ±1,38	81,05 ±2,21	81,85 ±2,45	82,71 ±2,86	83,13 ±2,61	83,26 ±2,48	85,01 ±2,17

Примечание*: здесь и далее – числитель – концентрация ферментного препарата, знаменатель – продолжительность обработки

Минимальные потери белка, по сравнению с другими видами сырья, независимо от параметров обработки, наблюдались для образцов на основе рубца. Как показывают результаты изучения влияния параметров ферментативной обработки на содержание влаги и потерю белковых веществ в образцах, динамика изменений исследуемых показателей носит нелинейный характер, что связано с особенностью структуры, типа и количеством коллагена в каждом виде сырья.

Проведение дальнейших исследований по выбору рациональных параметров получения ПФО биомодификацией, осуществляли изучая их функционально-технологические свойства до и после тепловой обработки. Результаты представлены в таблице 3 и рисунках – 8, 9.

Таблица 3 – Водосвязывающая способность продуктов ферментативной обработки

Концентрация, % / продолжительность обработки, ч	ВСС, % к массе сырья					
	Легкое КРС	Рубец КРС	Мясная обрезь КРС	Губы КРС	Свиная шкура	Кожа карпа
Нативное сырье	70,25±0,19	46,25±0,10	37,89±0,02	39,33±1,17	62,32±0,98	44,45±0,13
0,01/2	83,64±3,30	72,57±2,87	89,72±3,54	65,33±1,94	78,29±1,17	71,59±2,87
0,05/2	78,37±3,10	66,81±2,64	84,15±3,32	65,33±1,94	74,21±1,93	65,83±2,68
0,10/2	74,26±2,93	63,36±2,50	75,86±3,00	70,50±2,08	73,68±1,67	64,53±2,50
0,20/2	60,01±0,37	59,70±2,35	75,56±2,98	70,00±2,08	70,62±1,65	58,70±2,38
0,01/4	59,46±2,34	50,32±1,99	64,90±2,56	51,46±2,03	56,12±0,96	50,16±1,79
0,05/4	51,46±2,03	41,19±1,63	45,21±1,79	45,67±1,36	61,32±0,91	42,71±1,61
0,10/4	45,44±1,79	38,77±1,53	33,05±1,30	42,33±1,26	68,43±1,25	37,19±1,52
0,20/4	36,38±1,44	32,67±1,29	23,97±0,95	39,50±1,17	68,29±1,16	31,62±1,29

Для всех образцов значение водоудерживающей способности было выше при двухчасовой обработке, чем при четырехчасовой, что можно объяснить большей степенью гидролиза коллагена при увеличении продолжительности воздействия ферментного препарата.

Результаты рисунков 8 и 9 свидетельствуют о том, что значения водоудерживающей способности ЛФО после 2-часового воздействия снижались с изменением концентрации коллагеназы от 0,01 до 0,2 %, что связано с уменьшением количества реакционно-активных групп белка, способных связывать свободную влагу. Аналогичную динамику наблюдали и для РФО, ОФО – после 2-часового воздействия водоудерживающая способность уменьшилась на 25 % по сравнению с контролем. Повышение значений ЖУС, по сравнению с исходным сырьем, наблюдалось у каждого исследуемого образца, но самые высокие показатели характерны для всех образцов РФО.

На основе эмпирически полученных данных, используя программу Systat TableCurve 3D, построены теоретические модели, отображая результаты влияния параметров ферментативной обработки на основные показатели и функционально-технологические свойства коллагенсодержащего сырья.

Получены полиномы по уравнению $Z = a + bx + cy + dx^2 + ey^2 + fxy$ (X – концентрация ферментного препарата, %; Y – продолжительность обработки, ч; Z – отдельные критериальные показатели) и трехмерные поверхности, которые позволяют прогнозировать влияние концентрации ферментного препарата и продолжительности обработки на качественные показатели объектов исследования.

Например, для ЛФО, критериальный показатель ВСС представлен уравнением $Z = 142,07 - 153,59x - 35,55y + 113,15x^2 + 3,72y^2 + 3,05xy$, доверительный интервал $P = 0,99$.

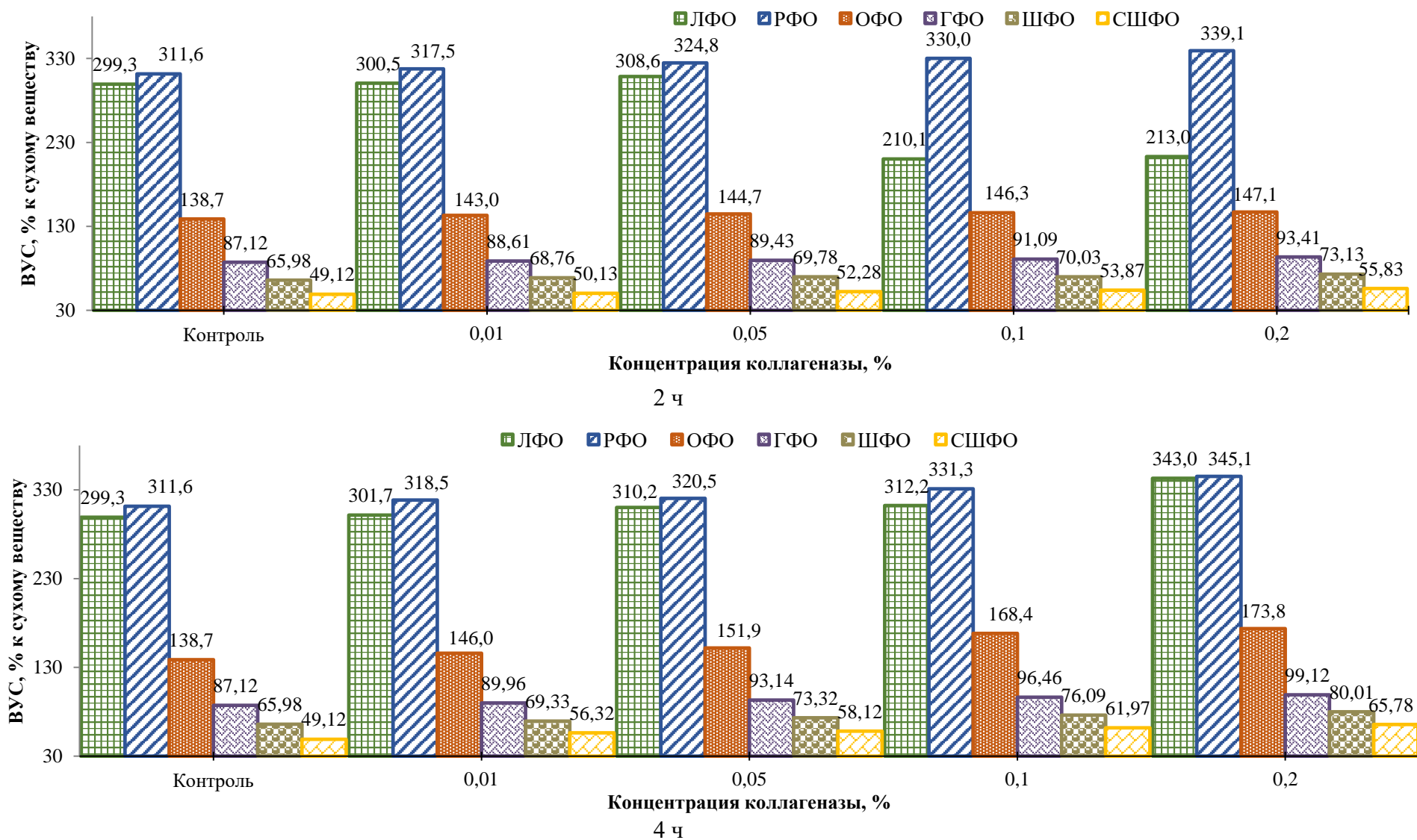


Рис. 8. Изменение водоудерживающей способности в зависимости от продолжительности ферментативной обработки

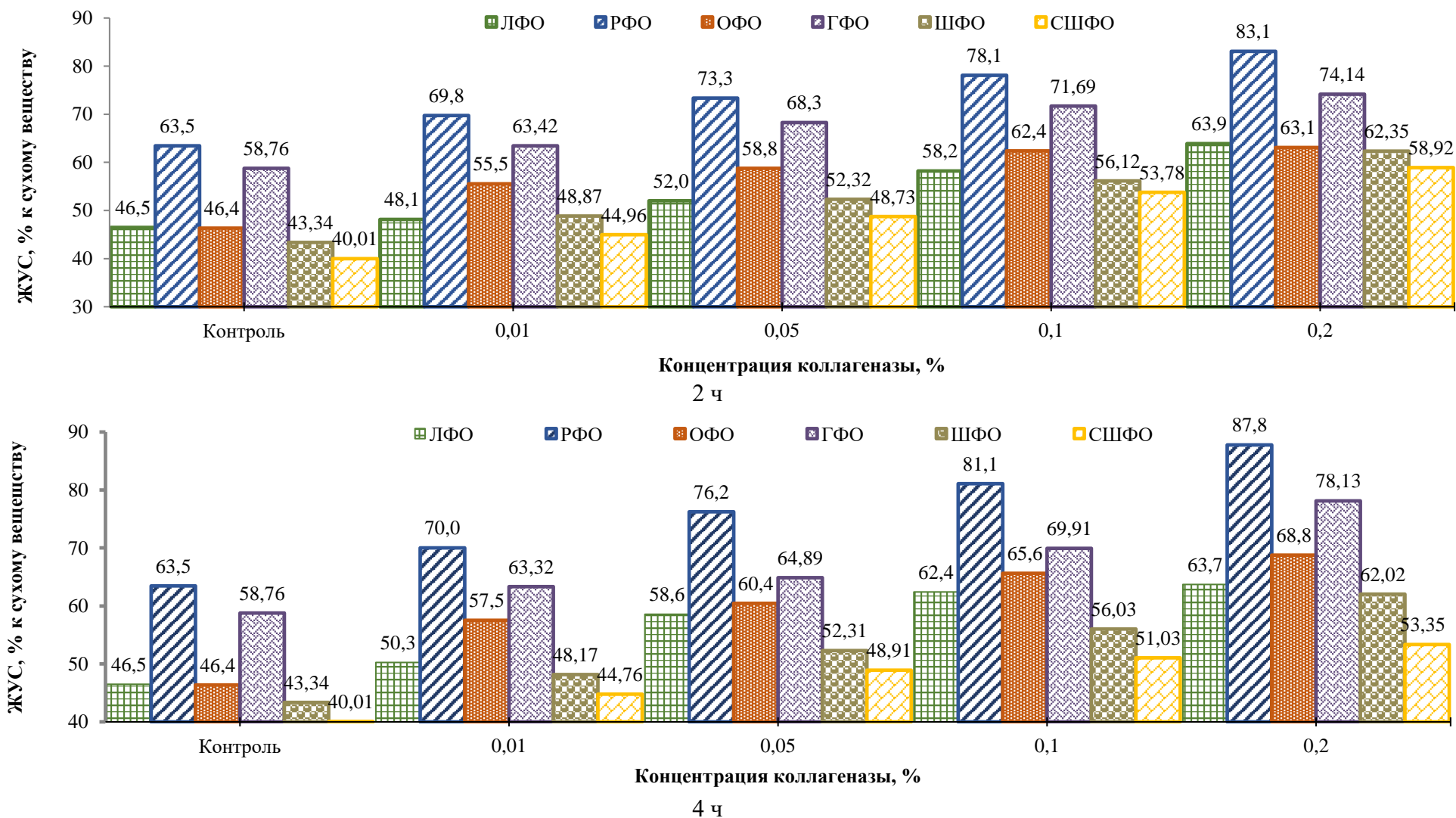


Рис. 9. Изменение жиродерживающей способности в зависимости от продолжительности ферментативной обработки

С целью подтверждения наличия в ПФО фрагментов коллагеновых волокон проведены исследования по определению структуры и молекулярной массы продуктов ферментативной обработки (рисунок 10).

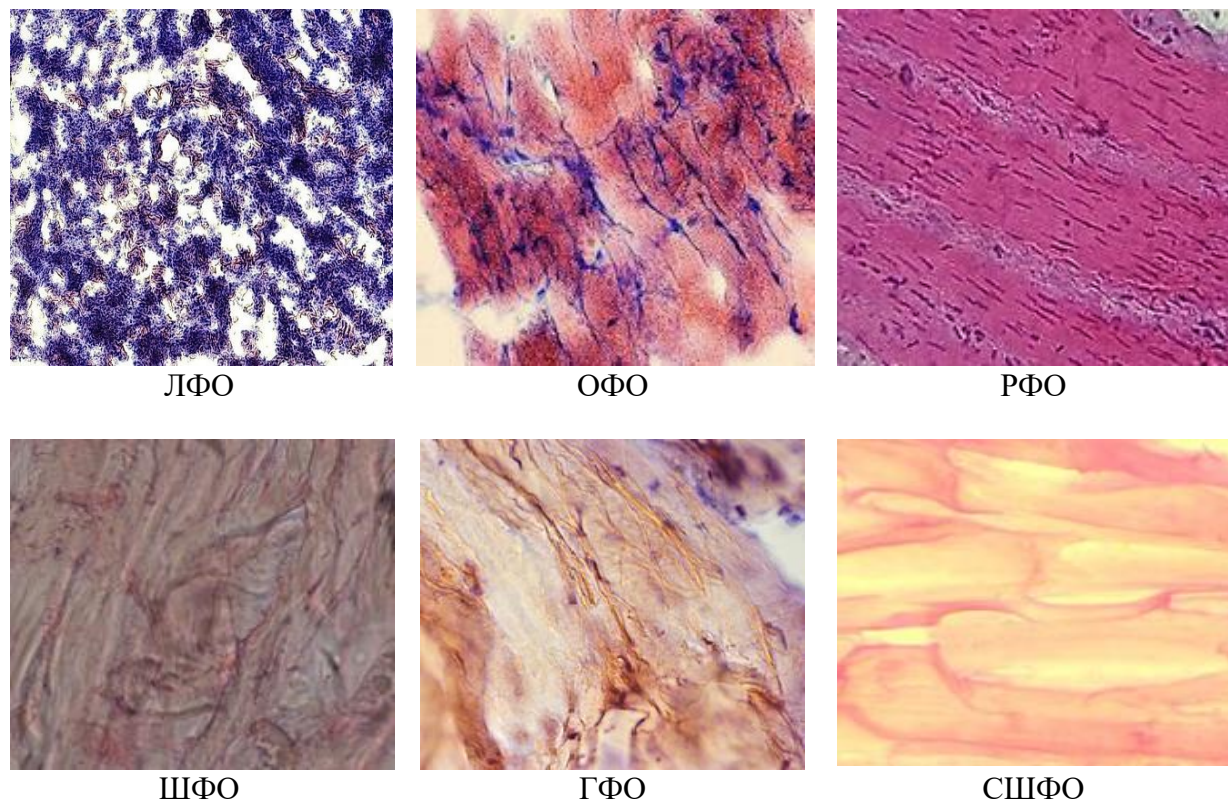


Рис. 10. Микроструктура продуктов ферментативной обработки: Продольный срез. Ув. об. 40х

Молекулярная масса для всех образцов ПФО составила в среднем 212–216 кДа. Результаты указывает на присутствие в них фрагментов коллагеновых волокон, состоящих из комплексов полипептидных α - и β -цепей коллагена, которые способны к формированию плотных студней.

Изучение изменений образцов на уровне молекулярной структуры при анализе ИК-спектров позволило установить, что образцы (контроль (нативный рубец КРС), PFO), соответствовали протеиноидам соединительной ткани. Полученные ИК-спектры в контроле и модифицированном коллагенсодержащем сырье варьировались по высоте пиков с сохранением общей динамики. Выявлены изменения связаны с колебаниями амидных CONH-групп, которые являются общими структурными элементами молекул протеиноидов. Зафиксировано несколько сильных полос поглощения, связанных с комплексом валентных и деформационных колебаний типов N–H, C–H. ИК-спектры обычно характеризуют конформационные изменения вторичной структуры белков, следовательно, можно прогнозировать сохранение свойствтропоколлагеновой структуры коллагена. Различия ИК-спектров связаны со сложным химическим составом сырья и надмолекулярной ориентированной архитектоникой фибрилл и пучков коллагеновых волокон. Анализ результатов исследований позволили сделать вывод о сохранности спиральной конформационной структуры, что коррелирует с результатами функционально-технологических свойств ферментализатов (рисунки 8, 9).

Опираясь на результаты комплексной оценки свойств и качественных показателей полученных гидролизатов, были установлены режимы и параметры ферментализации побочного коллагенсодержащего сырья:

- для лёгкого и мясной обрезки КРС продолжительность модификации составляет 2 ч при концентрации коллагеназы 0,05 %;
- для рубца – 2 ч при концентрации ферментного препарата 0,01 %;
- для свиных шкур – 4 ч при концентрации ферментного препарата 0,10 %;
- для кожи рыбы (каrp) – 2 ч при концентрации ферментного препарата 0,01 %;
- для губ КРС – 2 ч при концентрации ферментного препарата 0,02 %.

Оценивая коллагеновые ферментолиты на биотесте *Paramecium Caudatum*, установлено отсутствие негативного воздействия ПФО на движение клеток, подтверждает биологическую безопасность ингредиентов для живого организма.

В главе 4 «Исследование взаимодействия (синергизм, аддитивность, антагонизм) биомодифицированного коллагенсодержащего сырья и легколетучих/термолабильных компонентов растительного и животного происхождения» представлены данные о результатах исследования компонентов различной природы в целях установления их сохранности для дальнейшего использования в технологическом цикле производства пищевых продуктов.

Наличие в молекуле коллагена активных карбоксильных концевых групп и сложная пространственная структура обуславливают возможность комплексообразования этого белка с различными минорными нутриентами, тем самым способствуя созданию комплексов для дальнейшего обогащения продуктов питания.

Для подтверждения комплексообразования коллагена с биологическими активными веществами был использован метод дифференциальной сканирующей микрокалориметрии, который позволяет по величине теплопоглощения установить изменение структуры коллагена после введения аскорбиновой кислоты апикомпонентов (пчелиная пыльца) и йода в органической форме (фукус).

В качестве объектов исследования использовали нативные образцы коллагенового ферментолита (КФ), аскорбиновую кислоту апикомпонентов, фукус, как источник органического йода, и коптильный ароматизатор. Аскорбиновая кислота вводилась из расчета 200 мг/100 г белка; фукуса – 150 мг/100 г белка; коптильный ароматизатор – 0,08 мл/100 г белка. Кривые температурной зависимости теплоёмкости исследуемых образцов в интервале измеренных температур (25–70 °С) аппроксимировали суммой двух гауссовых компонент, определяя положение максимума пиков (T_{1max} , °С, T_{2max} , °С) и площади под пиками – энтальпии (H_1 , Дж/г, H_2 , Дж/г) методом наименьших квадратов, используя алгоритм Маркуардта. На рисунке 11а представлены температурные зависимости удельной теплоёмкости коллагенсодержащих образцов от температуры: контрольного образца – КФ (кривая 1); в присутствии аскорбиновой кислоты (кривая 2), фукуса (кривая 3); коптильного ароматизатора (кривая 4); ФМ (кривая 5). Для более детального анализа влияния выбранных исследуемых компонентов на термодинамические параметры исследуемых образцов каждая кривая была описана с помощью гауссова распределения (рис. 11б–д) на две компоненты. Пунктиром представлены гауссовы компоненты низкотемпературного (кривая 2) и высокотемпературного (кривая 3) переходов и их сумма (кривая 4), описывающая температурный переход. Значения температуры максимумов пиков и энтальпии денатурационных переходов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Температура максимумов пиков и энтальпии переходов

Наименование образца	T_{1max} , °С	H_1 , Дж/г	T_{2max} , °С	H_2 , Дж/г
КФ	32,5	1,2	40,9	7,2
КФ+аскорбиновая кислота	34,1	0,7	42,5	6,9
КФ+фукус	33,8	0,7	44,3	6,8
КФ+коптильный ароматизатор	32,7	0,8	41,7	7,1
ФМ	34,6	0,8	42,0	6,5

Введение аскорбиновой кислоты в исследуемый образец (рис. 11б) несколько повышало термостабильность КФ, что отразилось на увеличении температуры максимума перехода (44,3 °С) и уменьшении энтальпии денатурационного перехода компоненты 2 (табл. 4). Следует отметить, что аналогичные изменения термодинамических параметров наблюдались и для предденатурационной компоненты 1 (рис. 11б, табл. 4).

Фукус в комплексе с коллагеновым ферментоллизатом демонстрировал более значительные изменения термодинамических параметров белковой системы (рис. 11в, табл. 4), по сравнению с аскорбиновой кислотой. Представленные данные позволяют выдвинуть предположение о существенной стабилизации пространственной структуры образца по сравнению с контролем.

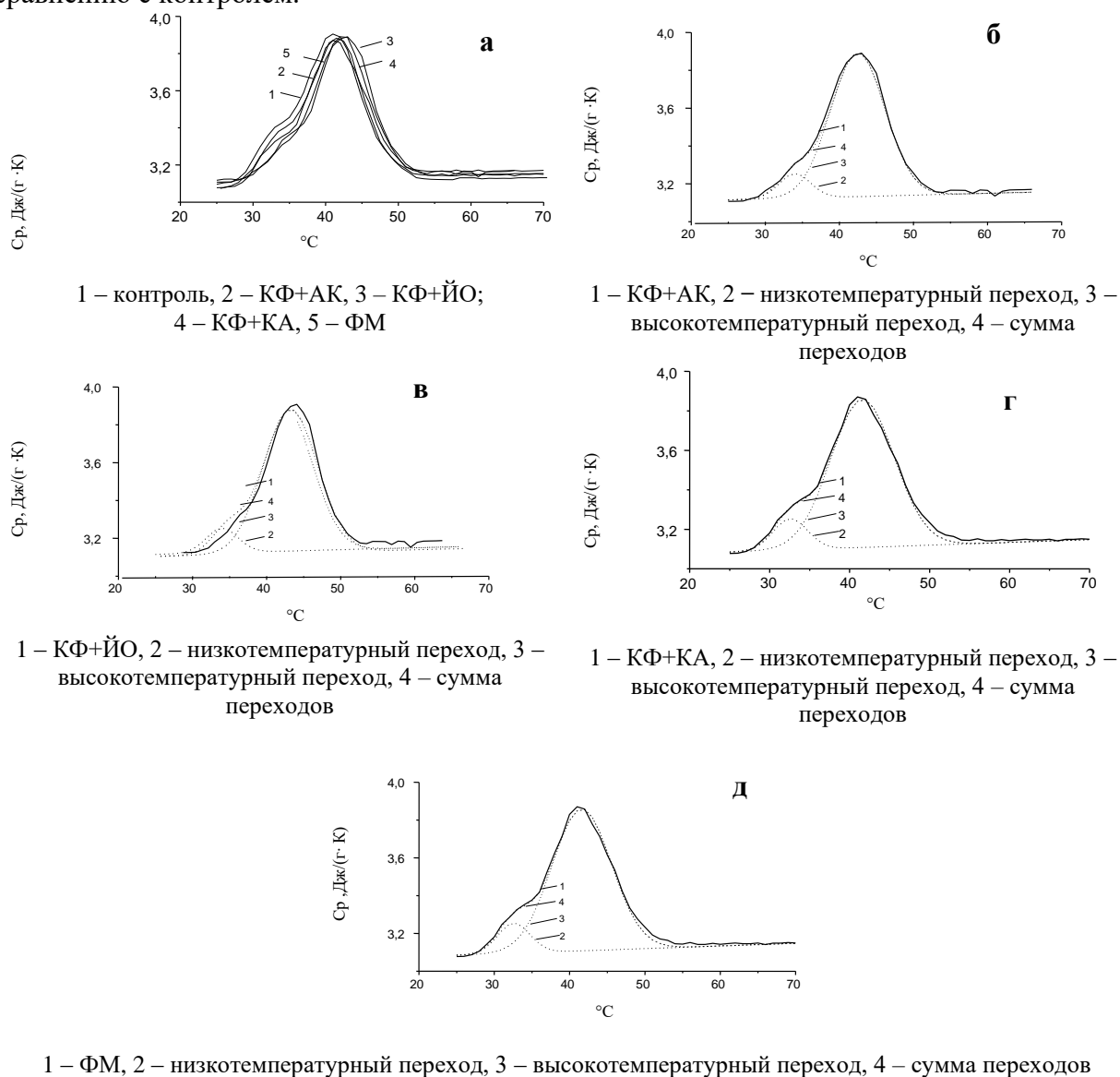


Рис. 11. Температурная зависимость удельной теплоемкости образцов коллагена: а – всех образцов; б – КФ + аскорбиновая кислота; в – КФ + фукус; г – КФ + копильный ароматизатор; д – ФМ

В присутствии копильного ароматизатора термодинамические параметры белкового продукта изменяются в наименьшей степени (рис. 11г, табл. 4). Просматривается тенденция к регулированию 3D-структуры по сравнению с контролем.

Одновременное введение в коллагеновый ферментоллизат аскорбиновой кислоты, йода в органической форме и копильного ароматизатора обнаружен наиболее заметный

эффект стабилизации структуры белка. Из представленных на рисунке 11г и в таблице 4 данных следует, что этот эффект проявляется в увеличении температурного максимума денатурации и уменьшении величины энтальпии денатурационного перехода как в предденатурационной компоненте 1, так и в основной компоненте 2 температурной зависимости ФМ. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что совместная иммобилизация аскорбиновой кислоты, йода в органической форме и копильного ароматизатора приводят к заметной стабилизации пространственной структуры коллагена в функциональном модуле.

Для проверки влияния тепловой обработки на структуру КФ и МФ, как предполагаемых компонентов пищевых продуктов, было проведено исследование температурной зависимости удельной теплоёмкости образцов, содержащих аскорбиновую кислоту, йод в органической форме и копильный ароматизатор (по отдельности и вместе) после тепловой обработки при достижении 70 ± 2 °С. Представленные на рисунке 12 данные показывают, что термообработка коллагенового ферментолізата и ФМ при температуре, аналогичной температуре варки мясных продуктов вне зависимости от присутствия (ФМ) или отсутствия добавок (КФ), приводит к необратимой денатурации коллагена и потере пространственной структуры, что позитивно отражается на переваримости (КФ – 14,45 мг тирозина/г белка, ФМ – 13,50 мг тирозина/г белка) при одновременной сохранности аскорбиновой кислоты и йода в процессе тепловой обработки.

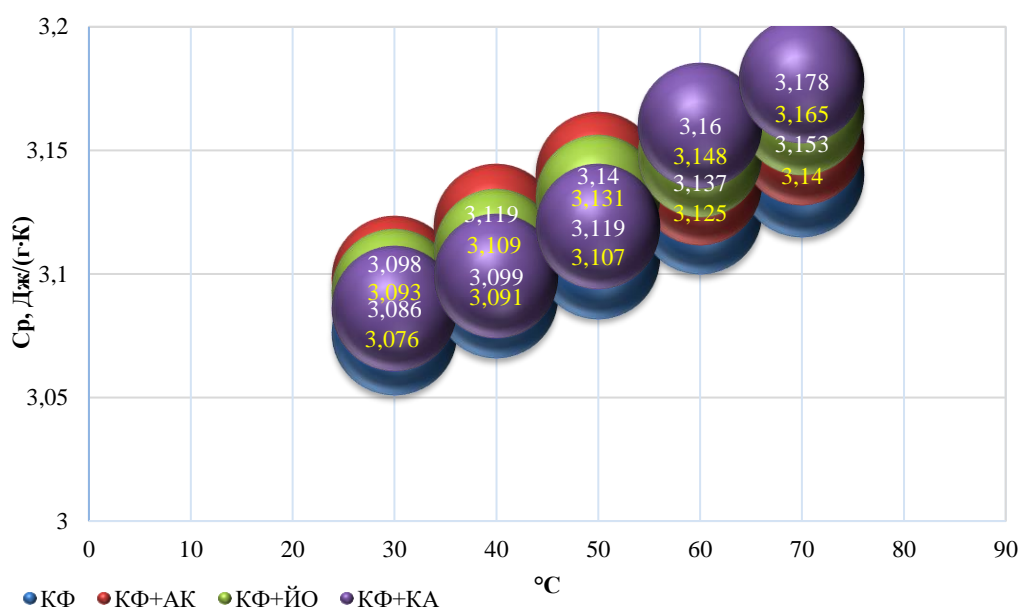


Рис. 12. Температурная зависимость удельной теплоемкости образцов КФ и ФМ после тепловой обработки

Таким образом, можно констатировать, что присутствие аскорбиновой кислоты, йода в органической форме и копильного ароматизатора в коллагеновом ферментолізате приводит к созданию функционального модуля, в котором вышеназванные компоненты находятся в иммобилизованном состоянии, вследствие образования новых связей между аминокислотами дезагрегированного соединительнотканного белка и минорных компонентов, например, йода с тирозином.

Глава 5 «Разработка функциональных модулей на основе биотрасформированного коллагенсодержащего сырья и биоактивных компонентов растительного и животного происхождения» посвящена созданию функциональных модулей. При выборе процентного соотношения компонентов в ФМ руководствовались критерием минимального отклонения от заданной структуры эссенциальных компонентов.

В качестве ограничений использовались: отношение содержания белка к содержанию жира, элементный химический состав продукта, рецептурные компоненты и стоимостные показатели.

Содержание незаменимых АК, микро- и макроэлементный состав одного из разработанных функциональных модулей на основе коллагенового ферментолита, пчелиной пыльцы и изолята амаранта представлен на рисунках 13, 14.

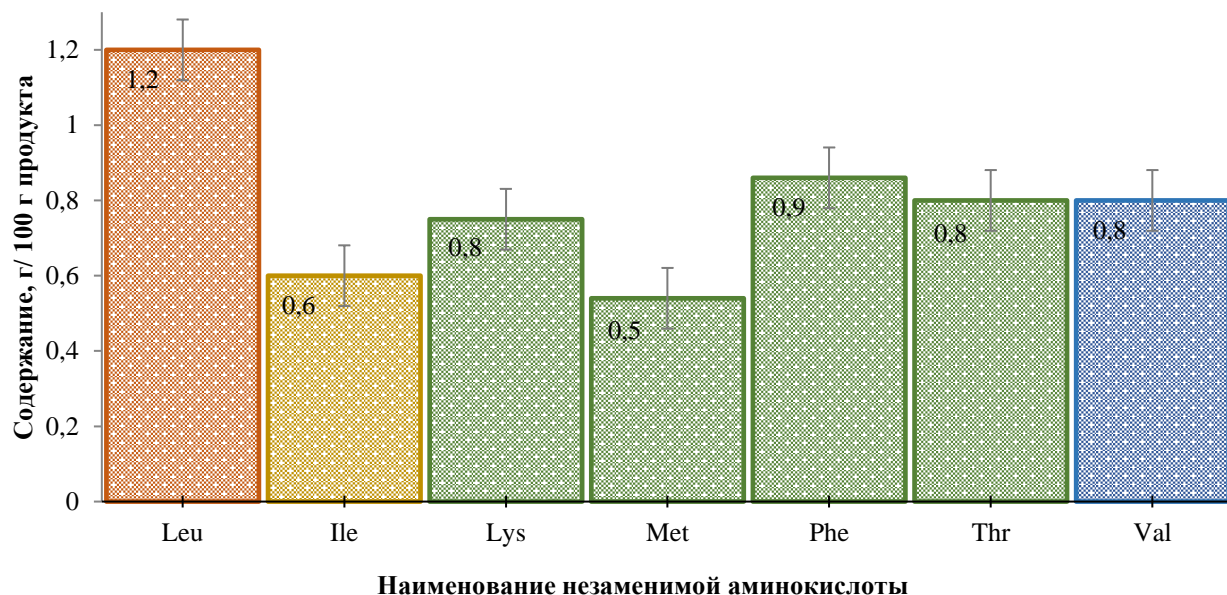
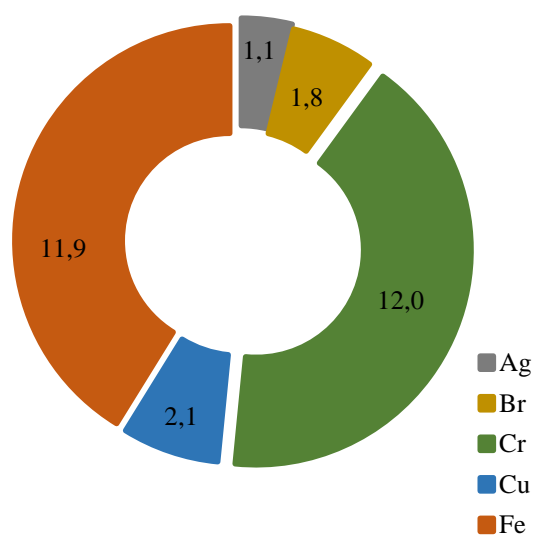


Рис. 13. Содержание незаменимых аминокислот в разработанном функциональном модуле

Аминокислотный состав разработанного модуля разнообразен, содержит в большом количестве пролин, который способствует репарации соединительной ткани, активирует усвоение протеина, защищает сосудистые стенки от липопротеинов. Соотношение ВСАА составило 1,5:1:2, что близко к рекомендуемому 1:1:2.



Содержание микро- и макроэлементов в ФМ иллюстрирует широкое разнообразие и высокие количественные показатели. Отдельно необходимо отметить обогащение ФМ К (800,1 мкг/г), который способствует синтезу белка и усвоению углеводов.

Рис. 14. Содержание микро- и макроэлементов в разработанном функциональном модуле

Персонализированный анализ функционально-технологических свойств каждого из приведенных выше объектов, позволил предложить перспективные направления их использования в частных технологиях продуктов на мясной и рыбных основах, представленные в виде схем на рисунках 15 и 16.



Рис. 15. Классификация функциональных модулей по принципу использования в технологии продуктов питания на мясной и рыбной основах в зависимости от технологических особенностей



Рис. 16. Классификация функциональных модулей по принципу использования в технологии продуктов питания на мясной и рыбной основах в зависимости от функциональной направленности

В главе 6 «Обоснование рецептур, разработка технологий и комплексное исследование мясных и рыбных продуктов с функциональными модулями» представлены данные по разработке технологий и результаты исследований различных видов продуктов на мясной и рыбных основах, содержащих функциональные модули.

В работе при проектировании фортифицированных пищевых продуктов предложено использовать ориентированный подход в виде иерархической структуры.

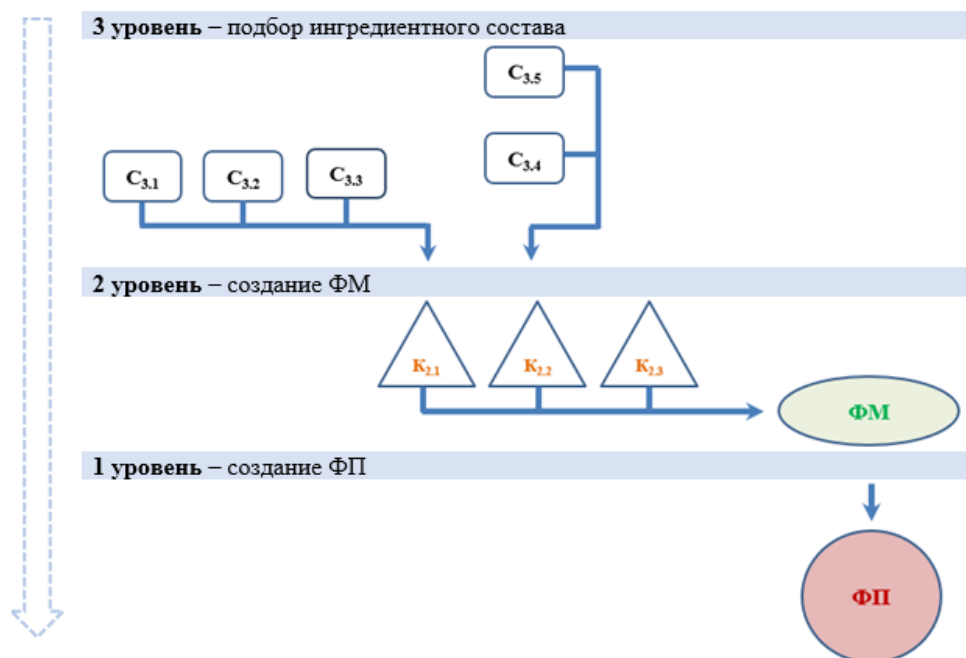


Рис. 17. Комплексный подход к созданию рецептур фортифицированных продуктов питания

Каждая из вершин структуры представляет собой объект (фортифицированный продукт, функциональный модуль, используемое сырьё). Каждый уровень соответствует определённой стадии производства фортифицированного продукта: первый индекс – номер уровня, второй – номер компонента рецептурной смеси.

Предлагаемый подход создания рецептуры фортифицированного пищевого продукта подразумевает ведение расчёта с последнего уровня (рисунок 17), исходными данными которого являются: расход на загрузку сырья; потери массы (выход); заданное количество готовой продукции равно 1 000 кг. Достоинством подхода является возможность комплексной адаптации состава и свойств сырья на основе синергетического взаимодействия, что позволяет расширить ассортимент, опираясь на особенности производства, технико-экономические показатели, характерные для технологического цикла.

Разработка технологий пищевых систем на мясной и рыбных основах с использованием созданных ФМ позволила расширить ассортимент следующими фортифицированными продуктами: вареное колбасное изделие, цельнокусковой продукт из свинины, рубленые полуфабрикаты, стерилизованные консервы, сублимированные meatballs, реструктурированный продукт из мяса птицы с функциональными модулями.

Для производства цельнокусковых продуктов из мяса интерес представляла разработка рассола, отвечающего критериям: низкая пено- и гелеобразующая способности. Концентрация ФМ (коллагеновый ферментоллизат, соевый изолят, соевый лецитин, фукус) в рассоле изменялась от 3 до 15 %, пищевой соли – от 0 до 10 %. Прочность гелей оценивали величиной предельного напряжения сдвига. Анализируя значения предельного напряжения сдвига, наиболее приемлемым считаем рассол, концентрацией соли 9 % и содержанием ФМ

до 12 %. Исследования выполнялись на образцах, изготовленных из лопаточной части свинины. Контрольным служил рассол, не содержащий ФМ. Уровень шприцевания рассолом составил 25 % к массе сырья. Посол осуществляли смешанным способом.

Результаты изучения прочностных характеристик готовых изделий (рисунок 18) позволяют сделать вывод, что опытный образец по прочностным характеристикам не уступал контрольному. Увеличение количества модифицированных волокон способствовало незначительному повышению структурно-механических величин (напряжение среза, работа резания), что благоприятно отразилось на консистенции готового продукта и улучшении его органолептических характеристик.

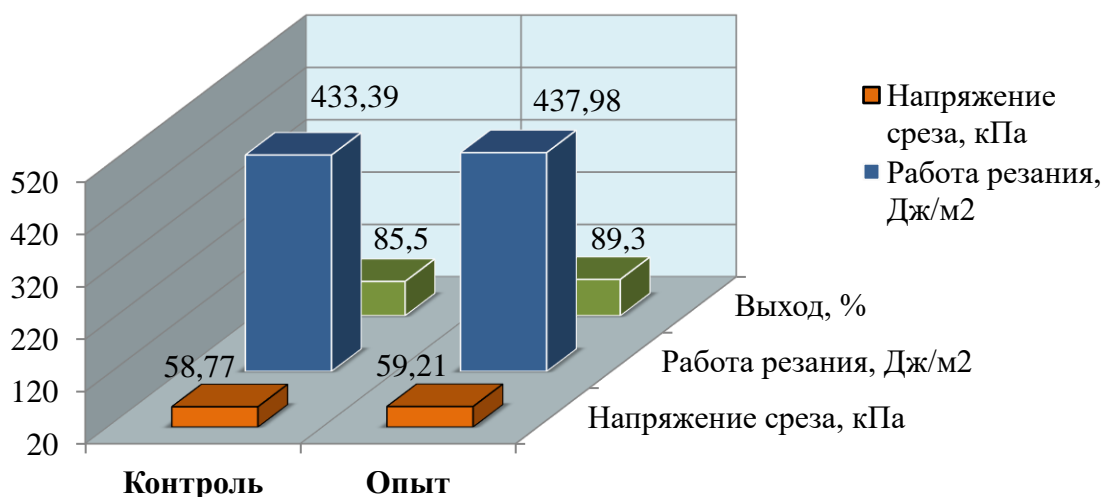


Рис. 18. Прочностные характеристики цельнокусковых продуктов из свинины

Таблица 5 – Показатели пищевой ценности и переваримости «in vitro» продуктов из свинины

Показатели	Наименование образца	
	контроль	опыт
Массовая доля влаги, %	67,80±2,32	68,30±2,73
Массовая доля белка, %	16,77±0,34	17,10±0,56
Массовая доля жира, %	12,40±0,65	10,40±0,12
Массовая доля золы, %	3,03±0,12	3,50±0,17
Массовая доля углеводов, %	следы	0,70±0,13
Содержание йода, мкг/100г сухого вещества	следы	0,70±0,02
Калорийность, ккал/100 г продукта	177,78±5,24	164,80±1
Переваримость «in vitro», мг тирозина/100 г белка, общее	14,77±0,15	14,43±0,14
Ферменты	пепсином	4,85±0,10
	трипсином	9,92±0,10
		4,60±0,09
		9,83±0,10

Установлено, что содержанию белка опытный образец превосходил контроль на 2 %. Уменьшение содержания жира в опытном образце можно объяснить образованием вокруг капель жира белковой капсулы из коллагеновых волокон, которые препятствуют экстрагированию жира при его определении. Наличие углеводов в опытном мясном образце можно объяснить их содержанием в ФМ. Общая калорийность в опытном изделии снизилась на 8 %. Установлено обогащение мясного продукта с ФМ йодом в количестве 2,62 мкг/100 г продукта (потери составили 30 %). Переваримость «in vitro» опытного образца ниже на 0,3 %, что объясняется присутствием фрагментов коллагеновых волокон.

Для оценки биологической ценности изучали аминок- и жирнокислотный составы продуктов (таблицы 6 и 7).

Данные таблицы 6 позволяют утверждать, что суммарное содержание незаменимых аминокислот в опытном образце было ниже, чем в контроле на 0,7 единиц, однако оба продукта соответствовали рекомендациям ФАО/ВОЗ.

Количество полиненасыщенных кислот (таблица 7) в опытном образце выше на 10,15 %, чем в контрольном, благодаря включению в его состав ФМ, что обеспечивает получение мясного продукта с ФМ полиненасыщенными жирными кислотами.

Таблица 6 – Содержание незаменимых аминокислот в суммарном белке мясных продуктов, г/100 г белка

Незаменимые аминокислоты	Содержание, г/100 г белка, в		Данные ФАО/ВОЗ, г/100 г белка
	контроле	опыте	
Изолейцин	5,08±0,15	5,72±0,18	4,00
Лейцин	7,72±0,23	7,88±0,23	7,00
Лизин	7,52±0,22	6,89±0,20	5,50
Метионин+Цистин	3,57±0,11	3,54±0,10	3,50
Фенилаланин+Тирозин	7,32±0,21	6,94±0,20	6,0
Треонин	4,38±0,10	4,18±0,09	4,0
Триптофан	1,44±0,03	1,02±0,03	1,0
Валин	5,74±0,17	5,84±0,17	5,0
ΣНАК	42,77	42,01	36,00

Таблица 7 – Жирнокислотный состав контрольного и опытного образцов мясных изделий

Жирные кислоты	Содержание жирных кислот (% к общему количеству)	
	контроль	опыт
ΣНасыщенных	36,83	34,38
ΣМононенасыщенных	49,23	46,18
ΣПолиненасыщенных	13,89	19,12
в том числе:		
линолевая	10,98	15,13
линоленовая	2,85	3,94
арахидоновая	0,06	0,05

Анализируя результаты микроструктурных исследований (рисунок 19) продуктов из свинины, можно сделать вывод, что целостность клеточных мембран клеток мышечной и соединительной тканей вне зоны фрагментации в основном сохранена.

В опытном образце зафиксировано локальное присутствие соевого изолированного белка, мелких частиц тканей рубца и повышенное количество продуктов распада мышечной ткани, особенно в зонах инъекции. В целом, контрольный и опытный образцы незначительно отличались.

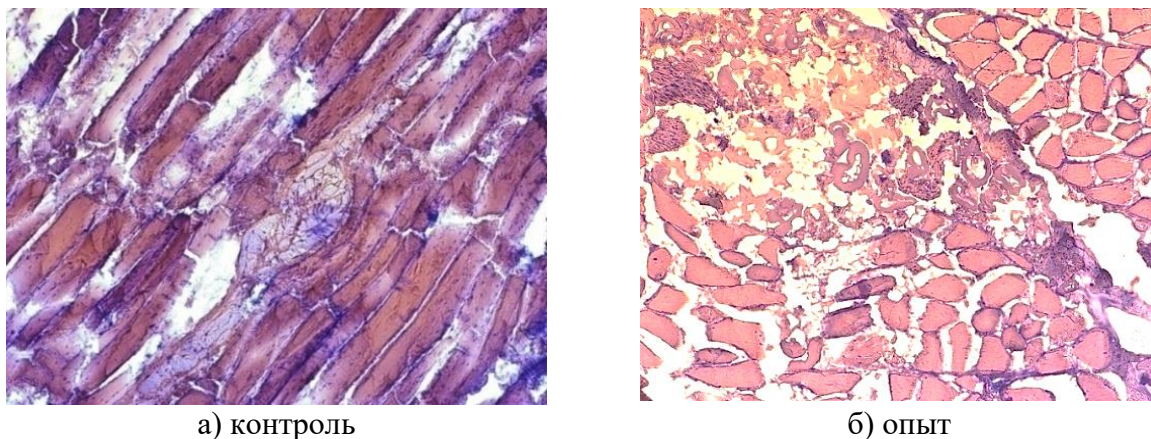


Рис. 19. Микроструктура цельнокусковых продуктов из свинины. Ув. об. 10х

Для глубокой оценки биологической ценности разработанных продуктов в течение 21 сут в условиях экспериментально-биологической лаборатории ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора, проведены исследования «in vivo» на растущих белых мышах. Общий прирост массы тела на группу лабораторных животных составил: Контроль (цельнокусковой продукт из свинины без ФМ) – 140 г; Опыт (цельнокусковой продукт из свинины с ФМ) – 154 г. Различия между группами были достоверны ($p < 0,05$) согласно t-критерию Стьюдента. КЭБ определяли по приросту массы тела лабораторных животных в граммах на 1 г потребленного ими ключевого ингредиента. Для контрольной группы данный показатель составил 0,40, для опытной группы 0,56.

Как свидетельствуют результаты сравнительного определения прироста массы тела животных, получавших тестируемые объекты, отношение коэффициентов эффективности КЭБ образца/ КЭБ контроля, рассчитанное на основе этих данных, составило 1,29 в течение всего эксперимента. Данный факт свидетельствует о том, что эффективность утилизированного животными ключевого ингредиента опытных мясных продуктов в плане влияния на ростовые показатели составил более 120 % от эффективности утилизации контрольного образца.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Расширены сведения о биохимических и физико-химических характеристиках ферментных препаратов, обладающих коллагеназной активностью – коллагеназа из гепатопанкреаса камчатского краба, коллагеназа, продуцируемая грибом *Flammulina*. Проведена сравнительная оценка глубины гидролитических процессов и средства выбранных ферментов в препаратах к исследуемым субстратам (казеинат натрия, коллаген и эластин), которые оказывают важное влияние на производственный процесс. Разработан и научно обоснован способ, позволяющий получить продукты ферментативной обработки побочного коллагенсодержащего сырья. Целесообразность применения подобранных параметров биомодификации (для лёгкого и мясной обрезки КРС продолжительность модификации составляет 2 ч при концентрации коллагеназы, продуцируемая базидиомицетом 0,05 %; для рубца – 2 ч при концентрации ферментного препарата 0,01 %; для свиных шкур – 4 ч при концентрации ферментного препарата 0,10 %; для кожи рыбы (карп) – 2 ч при концентрации ферментного препарата 0,01 %; для губ КРС – 2 ч при концентрации ферментного препарата 0,02 %), позволяет получить продукты ферментативной обработки, способных образовывать плотные структуры в результате образования крупных фрагментов коллагеновых волокон с молекулярной массой в среднем 216 кДа.

2. На основе методов дифференциально-сканирующей микро-и калориметрии и газо-жидкостной хроматографии доказана возможность комплексообразования концевых

групп модифицированного коллагена и термолабильных, легколетучих нутриентов, позволяющая повысить сохранность минорных компонентов в технологическом цикле производства мясных и рыбных продуктов питания. В частности, легколетучие вещества иммобилизируются на пространственной сетке волокон модифицированного коллагена, что подтверждается энтальпией денатурационного перехода основной компоненты, равной 6,8 Дж/г, и температурой максимума пика – 44,3 °С.

3. Предложена концепция сохранности биологически активных веществ в технологическом цикле производства продуктов питания при проектировании мясных и рыбных пищевых систем на основе возможности комплексообразования концевых групп модифицированного коллагена и легколетучих/ термолабильных нутриентов, что доказано дифференциально-сканирующей микрокалориметрией. Сформулированы принципы создания продуктов питания на мясной и рыбных основах, предусматривающие целенаправленное сочетание компонентов растительного и животного происхождения в составе функциональных модулей с учетом их состава и трансформации свойств в процессе предварительных технологических обработок.

4. Используя аппарат математического моделирования, опираясь на принципы пищевой комбинаторики и медико-биологические требования, разработаны составы функциональных модулей для использования в качестве комплексного ингредиента в рецептурах продуктов питания на мясной и рыбных основах, соответственно. Калейдоскоп результатов качественных показателей мясных и рыбных продуктов позволил установить их целевое назначение. Доказано «in vitro» и «in vivo» увеличение пищевой и биологической ценности готовых к употреблению продуктов, что подтверждает факт их функциональной направленности. Предложена классификация функциональных модулей для использования в технологии мясных и рыбных продуктов питания, отражающая взаимосвязь в системе их производства вида белоксодержащих ингредиентов, характера их предварительной обработки, условий и параметров технологических особенностей и функциональной направленности, что способствует развитию информационного обеспечения в области создания многокомпонентных продуктов питания на мясной и рыбной основах.

5. На основании теоретических положений и полученного экспериментального материала предложены патентоспособные технические решения, проведена промышленная апробация разработанных технологий с использованием функциональных модулей и разработаны пакеты нормативной документации. Экономическая эффективность предложенных технических решений обусловлена снижением удельного расхода основного сырья рецептур, социальная значимость – созданием продуктов, сбалансированных по пищевой и биологической ценности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- ПФО – продукт ферментативной обработки;
- ЛФО – легкое ферментативной обработки;
- РФО – рубец ферментативной обработки;
- ОФО – мясная обрезь ферментативной обработки;
- ШФО – шкура (кожа) карпа ферментативной обработки;
- ГФО – губы ферментативной обработки;
- ГПС – глюкозо-пептонная среда;
- СШФО – свиная шкура ферментативной обработки;
- ФМ – функциональный модуль;
- КФ – коллагеновый ферментолитат;
- ВСС – водосвязывающая способность;
- ВУС – водоудерживающая способность;
- ЖУС – жиродерживающая способность;
- ПНС – предельное направление сдвига;
- КСБ-УФ – концентрат сывороточных белков, полученный ультрафильтрацией;
- КЭБ – коэффициент эффективности белка;
- АК – аминокислота;
- ВСАА (от англ. branched chain amino acid) – комплекс АК с разветвленной цепью – валин, лейцин, изолейцин.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Учебная литература:

1. Учебное пособие «Первичная переработка убойных сельскохозяйственных животных» по курсу «Общая технология мясной отрасли» / Литвинова Е.В., Кидяев С.Н., Артемьева И.О. // М.: Изд-во «Франтера», 2021. 96 с. (ISBN 978-5-94009-183-7)

2. Учебное пособие «Пищеварение и методы определения переваримости» по курсу «Высокотехнологические процессы в производстве мясных продуктов для детерминированных групп населения» / Литвинова Е.В., Кидяев С.Н., Артемьева И.О. // М.: Изд-во «Русайнс», 2021. 82 с. (ISBN 978-5-4365-8558-1)

Статьи в изданиях, рецензируемых в международных базах данных (Scopus и WOS)

3. Litvinova, E.V. Structural and mechanical aspects of creating coatings based on biopolymers/ E.I. Titov, E.V. Litvinova, A.Y. Sokolov// Materials Science Forum. 2020. – Т. 992 MSF. – P. 610–614.

4. Litvinova, E.V. Methodology for identification and quantification of chicken meat in food products/ M. Pleskacheva, M. Artamonova, E. Litvinova, M. Gergel, E. Davydova // Foods and Raw Materials. 2020. – Т. 8. – № 1. – P. 98-106.

5. Litvinova, E.V. Actual aspects of the use of metalloproteinases in the meat industry for effective resource conservation/ I. Artemeva, E. Litvinova, E. Andrianova // В сборнике: 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conference proceedings. 2019. – P. 507-514.

6. Litvinova, E.V. Biologically active substances of apicomponents for stabilization of the structure of collagen fibers in the technological cycle of production of meat products/ E. Titov, E. Litvinova, S. Kidyayev, N. Zarubin // В сборнике: 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conference proceedings. 2019. – P. 597-602.

7. Litvinova, E.V. Comparative analysis of the peculiarities of changes in the physico-chemical parameters of dfd and nor meat in the process of cryopreservation/ V. Koreshkov, E. Litvinova, V. Nikitin, I. Artemeva, E. Titov // В сборнике: 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conference proceedings. 2019. – С. 625-632.

8. Litvinova, E.V. Collagen from porcine skin: a method of extraction and structural properties/ E.I. Titov, G.V. Semenov, M.I. Slozhenkina, A.Yu. Sokolov, R.S. Omarov, A.I. Goncharov, E.Yu. Zlobina, E.V. Litvinova, E.V. Karpenko // International Journal of Food Properties. 2018. – Т. 21. – № 1. – P. 1031-1042.

9. Litvinova, E.V. Collagen – matrix for creating biologically active composites with minor components/ E. Titov, E. Litvinova, I. Artemeva// В сборнике: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Conference proceedings. 2018. – P. 105-110.

10. Litvinova, E.V. Physico-chemical features of obtaining high-quality dry modified collagen-containing products using freeze-drying/ V. Koreshkov, E. Litvinova, E. Titov, V. Nikitin, T. Minin // В сборнике: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Conference proceedings. 2018. – P. 423-428.

11. Litvinova, E.V. New data on the use of collagen hydrolysates in the technology of fish semi-finished products, food industry/ N.Yu. Zarubin, E.V. Litvinova, Yu.V. Frolova, O.V. Bredikhina // Petroleum Chemistry. 2016. – Т. 12. – P. 21.

12. Литвинова Е.В. Проблемы модификации биополимеров природного происхождения и исследования их гистоструктуры и реологических свойств/ Е.И. Титов, Е.В. Литвинова, А.Ю. Соколов, Д.И. Шишкина, С.Н. Кидяев// Springer Nature BioTech 2021: Международная научно-исследовательская конференция по достижениям в биологической науке и технологии. 2021. – P. 85.

13. Litvinova, E.V. Certain features of using modified collagen-containing raw materials with prolonged shelf life in food technology/ E.V. Litvinova, E.I. Titov, S.N. Kidyayev, A.Yu. Sokolov, V.L. Lapshina// Theory and Practice of Meat Processing. 2022. – Т.7. – №1. – С. 58-65.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ:

14. Литвинова, Е.В. Изменения свойств биологически активных композитов в зависимости от агрегатного состояния биомодифицированных коллагеновых продуктов [Текст] / Е.И. Титов, Г.В. Семенов, С.К. Апраксина, Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 10. – С. 11-15.
15. Литвинова, Е.В. Влияние биомодификации на свойства коллагенсодержащего сырья [Текст] / Е.И. Титов, С.К. Апраксина, Е.В. Литвинова // Инновации и инвестиции. – 2015. – № 6. – С. 196-199.
16. Литвинова, Е.В. Особенности микроструктуры продуктов на основе биомодифицированного коллагенсодержащего сырья [Текст] / Е.И. Титов, С.К. Апраксина, Е.В. Литвинова, С.И. Хвьяля // Мясная индустрия. – 2015. – № 4. – С. 49-51.
17. Литвинова, Е.В. Микроструктурные и реологические свойства коллагенсодержащего сырья при его модификации [Текст] / А.Ю. Соколов, Е.И. Титов, С.К. Апраксина, Е.В. Литвинова // Мясная индустрия. – 2016. – № 6. – С. 43-45.
18. Литвинова, Е.В. Влияние щелочных протеиназ на модификацию коллагенсодержащего сырья [Текст] / Е.И. Титов, С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова, Н.В. Цурикова // Мясная индустрия. – 2016. – № 2. – С. 44-46.
19. Литвинова, Е.В., Получение высококачественных сухих модифицированных коллагенсодержащих продуктов с использованием сублимационной сушки [Текст] / Е.И. Титов, Г.В. Семенов, С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова // Вестник Международной академии холода. – 2016. – № 3. – С. 27-30.
20. Литвинова, Е.В. Новые данные об использовании коллагеновых гидролизатов в технологии рыбных полуфабрикатов [Текст] / Н.Ю. Зарубин, Е.В. Литвинова, Ю.В. Фролова, О.В. Бредихина // Пищевая промышленность. – 2016. – № 12. – С. 21-24.
21. Литвинова, Е.В. О микроструктуре коллагенсодержащего сырья, модифицированного щелочными протеиназами [Текст] / Е.И. Титов, Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев, В.А. Пчелкина // Мясная индустрия. – 2017. - № 8. – С. 41-43.
22. Литвинова, Е.В. Функциональный комплекс с пищевыми волокнами для рубленых полуфабрикатов [Текст] / Е.И. Титов, С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова, В.В. Никитин // Мясная индустрия. – 2017. – № 7. – С. 19-23.
23. Литвинова, Е.В. Использование функционального модуля на основе сырья животного и растительного происхождения в технологии продуктов из свинины [Текст] / Е.В. Литвинова, Е.И. Титов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 4. – С. 18–21.
24. Литвинова, Е.В. Использование многофункционального комплекса в технологии для стерилизованных консервов из мяса птицы [Текст] / Е.И. Титов, С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова // Птица и птицепродукты. – 2018. – № 4. – С. 31-34.
25. Литвинова, Е.В. Использование отходов от переработки кальмаров для получения белкового гидролизата и полифункционального пищевого комплекса на его основе [Текст] / О.В. Бредихина, И.Н. Игонина, Н.Ю. Зарубин, С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 99-105.
26. Литвинова, Е.В. Коллагеновая матрица как способ сохранности минорных компонентов в пищевых продуктах [Текст] / Е.И. Титов, Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев, И.О. Артемьева // Все о мясе. – 2019. – № 1. – С. 40-43.
27. Литвинова, Е.В. Dietary fibres in preventative meat products / Е.И. Титов, А.Ю. Соколов, Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // Foods and Raw Materials. 2019. – Т. 7. – № 2. – С. 387-395.
28. Литвинова, Е.В. Биологически активные вещества крови убойных животных – перспективное векторное направление в мясной отрасли [Текст] / Е.В. Литвинова,

С.Н. Кидяев, В.Л. Лапшина, И.О. Артемьева // Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 2 (88).
–
С. 72-78.

29. Литвинова, Е.В. Влияние волокон пищевых на функционально-технологические свойства мясных систем [Текст] / Е.И. Титов, А.Ю. Соколов, Е.В. Литвинова, Д.И. Шишкина // Все о мясе. – 2021. – № 4. – С. 30-36.

30. Литвинова, Е.В. Инулин как основа создания гетерогенной композиции для использования в технологии мясных продуктов пониженной калорийности [Текст] / Р.Р. Ряхимов, А.Б. Лисицын, С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. – Т. 83. – № 4 (90). – С. 219-225.

31. Литвинова, Е.В. Новые данные об использовании побочного коллагенсодержащего сырья мясной отрасли [Текст] / Е.В. Литвинова, И.О. Артемьева, Е.И. Титов, С.Н. Кидяев, В.В. Никитин // Мясная индустрия. 2022. – № 12. – С. 38-42.

Патенты:

32. Патент, Российская Федерация, МПК А23J 1/02 (2006.01), А23L 1/0562 (2006.01) Разработка способа получения биомодифицированного коллагенового препарата для создания на его основе биологически активного композита / Е.И. Титов, С.К. Апраксина, Л.Ф. Митасева, А.Ю. Соколов, Е.В. Литвинова; 2015109790, заявл. 20.03.2015; опубл. 10.10.2016. Бюл. №28.

33. Патент 2726109 Российская Федерация, МПК А23J 1/02 (2006.01), А23J 1/04 (2006.01), А23J 3/04 (2006.01) Тернарная полифункциональная пищевая композиция для продуктов питания специализированного назначения/ Н.Ю. Зарубин, С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова, О.В. Бредихина; 2018138043, заявл. 29.10.2018; опубл. 09.07.2020. Бюл. №19.

Материалы симпозиумов, конгрессов, конференций:

34. Литвинова, Е.В. Характеристика комбинированных модулей на основе мясного сырья и муки из амаранта [Текст] / Л.Ф. Митасева, Е.В. Литвинова, Н.Е. Елисеева // В сборнике: Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологиях продуктов питания и кормов. VI Международный научно-практический симпозиум. 2012. – С. 385-392.

35. Литвинова, Е.В. Новые данные о биомодификации коллагенсодержащего сырья [Текст] / Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев, И.А. Сашина // В сборнике: Научный вклад молодых ученых в развитие пищевой и перерабатывающей промышленности АПК. Сборник научных трудов VII конференции молодых ученых и специалистов научно-исследовательских институтов Отделения хранения и переработки сельскохозяйственной продукции Россельхозакадемии. ГНУ ВНИМИ Россельхозакадемии, Россельхозакадемия. 2013. – С. 258-259.

36. Литвинова, Е.В. Изучение механизма биотрансформации коллагена для использования в технологии многокомпонентных продуктов питания [Текст] / А.Ю. Соколов, Е.И. Титов, С.К. Апраксина, Е.В. Литвинова // В сборнике: Международная научно-практическая конференция «Биотехнология и качество жизни». Материалы конференции. 2014. – С. 341-343.

37. Литвинова, Е.В. Новые возможности использования биомодифицированного коллагенсодержащего сырья в пищевой промышленности [Текст] / С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2015. – № 1. – С. 225.

38. Литвинова, Е.В. Новые данные о рациональном использовании коллагенсодержащего сырья как основного источника белка [Текст] / Е.И. Титов, Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев, М.А. Казикова // В сборнике: Инновации: перспективы, проблемы,

достижения. Материалы III международной научно-практической конференции. 2015. – С. 272-273.

39. Литвинова, Е.В. Изучение возможности биотехнологической модификации кожи рыб для использования в технологии сухих многофункциональных коллагеновых гидролизатов [Текст] / Н.Ю. Зарубин, Е.В. Литвинова // Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. 2016. – № 1. – С. 103-106.

40. Литвинова, Е.В. Щелочные протеиназы для улучшения свойств коллагенсодержащего сырья [Текст] / С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова // Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. 2016. – № 1. – С. 135-138.

41. Литвинова, Е.В. Влияние научно обоснованных технологий переработки коллагенсодержащего сырья на качество пищевых продуктов на мясной основе [Текст] / Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // VI Международная научно-практическая конференция «Церевитиновские чтения–2019», 22 марта 2019 г., Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова. 2019. – С. 95–97.

42. Литвинова, Е.В. Пчелиная пыльца в мясных продуктах функциональной направленности [Текст] / Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение», 13–14 ноября 2019 г., ФГБОУ ВО «ВГУИТ». 2019. – С. 122-133.

43. Литвинова, Е.В. Возможности сохранности минорных компонентов в технологическом цикле производства мясных продуктов [Текст] / Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // Материалы XXV Международной научно-практической конференции «EurasiaScience», 15 ноября 2019 г., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова». 2019. – С. 318-321.

44. Литвинова, Е.В. О крови убойных животных как источнике биологически активных веществ [Текст] / Е.В. Литвинова, Е.В. Краснова, М.В. Невзорова // В сборнике: Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности сборник научных статей по итогам второй международной научной конференции. 2020. – С. 120-121.

45. Литвинова, Е.В. Стерилизованные консервы из мяса птицы функциональной направленности [Текст] / Е.И. Титов, Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // В сборнике: Инновационное развитие аграрно-пищевых технологий. Материалы Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией И.Ф. Горлова. 2020. – С. 182-191.

46. Литвинова, Е.В. Оригинальный комплекс на основе растворимых и нерастворимых пищевых волокон для использования в технологии реструктурированного продукта из мяса птицы [Текст] / Е.И. Титов, Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // В сборнике: Инновационные направления в кормлении сельскохозяйственной птицы. Материалы Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. И.Ф. Горлова, В.А. Чистякова. 2018. – С. 110-114.

47. Литвинова, Е.В. Влияние научно обоснованных технологий переработки пищевого сырья на качество изделий на мясной основе [Текст] / А.Ю. Соколов, Д.И. Шишкина, Е.И. Титов, Е.В. Литвинова // В сборнике: Церевитиновские чтения – 2018. Материалы V Международной конференции. 2018. – С. 69-72.

48. Литвинова, Е.В. Создание рубленых полуфабрикатов функциональной направленности, используя минорные компоненты [Текст] / А.Д. Камерцева, Е.И. Титов, С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова // В сборнике: Живые системы и биологическая безопасность населения. Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2017. – С. 23-24.

49. Литвинова, Е.В. Амарант как альтернатива белкам мяса [Текст] / В.В. Никитин, С.Н. Кидяев, Е.И. Титов, Е.В. Литвинова // В сборнике: Живые системы и биологическая безопасность населения. Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2017. – С. 57-61.

50. Литвинова, Е.В. Использование природных антиоксидантов для снижения окислительного стресса мясных продуктов [Текст] / Д.А. Давидюк Д.А., С.Н. Кидяев, Е.И. Титов, Е.В. Литвинова // В сборнике: Живые системы и биологическая безопасность населения. Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2017. – С. 86-88.

51. Литвинова, Е.В. Использование функционального модуля на основе сырья животного и растительного происхождения в технологии продуктов из свинины [Текст] / Е.В. Литвинова, Е.И. Титов // В книге: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. 2017. – С. 123-126.

52. Литвинова, Е.В. Колбасные изделия пониженной жирности [Текст] / С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова // В сборнике: Экологические, генетические, биотехнологические проблемы и их решение при производстве и переработке продукции животноводства. материалы Международной научно-практической конференции (посвященная памяти академика РАН Сизенко Е.И.). 2017. – С. 197-200.

53. Литвинова, Е.В. Композиция из сырья растительного и животного происхождения для мясных продуктов [Текст] / Е.В. Литвинова, Д.А. Мазукабзова // В сборнике: Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых «День науки». Сборник материалов конференции: в 6 частях. 2017. – С. 22-23.

54. Литвинова, Е.В. Перспективы использования биомодифицированного коллагенсодержащего сырья из кожи рыб в технологии мясных продуктов [Текст] / Е.В. Литвинова, К. Арион // В сборнике: Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых «День науки». Сборник материалов конференции: в 6 частях. 2017. – С. 23-25.

55. Литвинова, Е.В. Изучение возможности использования экстракта можжевельника в технологии вареных колбас [Текст] / Е.И. Титов, Е.В. Литвинова, В.В. Никитин // В сборнике: Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых «День науки». Сборник материалов конференции: в 6 частях. 2017. – С. 38-40.

56. Литвинова, Е.В. Функциональный модуль на основе биомодифицированного коллагенсодержащего сырья и инулина [Текст] / Е.В. Литвинова, Е.А. Качалкин // В сборнике: Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых «День науки». Сборник материалов конференции: в 6 частях. 2017. – С. 32-34.

57. Литвинова, Е.В. Функциональный модуль на основе биомодифицированного коллагенсодержащего сырья и йода в органической форме для мясных продуктов [Текст] / Е.В. Литвинова, Е.А. Владимирова // В сборнике: Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых «День науки». Сборник материалов конференции: в 6 частях. 2017. – С. 34-36.

58. Литвинова, Е.В. Белоксодержащие продукты из амаранта для мясных продуктов [Текст] / Е.В. Литвинова, С.Ю. Евтеева // В сборнике: Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых «День науки». Сборник материалов конференции: в 6 частях. 2017. – С. 36-38.

59. Litvinova, E.V. Structural and mechanical aspects of creating coatings based on biopolymers / E.I. Titov, A.Y. Sokolov and E.V. Litvinova // FarEastCon – Materials and Construction II. 2019. – P. 610-615.

60. Литвинова, Е.В. Проблемы модификации биополимеров природного происхождения и исследования их гистоструктуры и реологических свойств [Текст] / Е.И. Титов, Е.В. Литвинова, А.Ю. Соколов, Д.И. Шишкина, С.Н. Кидяев // BioTech 2021:

Международная научно-исследовательская конференция по достижениям в биологической науке и технологии. 2021.

61. Литвинова, Е.В. Промышленное использование технологии sous-vide в мясной отрасли/ В сборнике: Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. сборник научных статей XII международной научной конференции. Казань. 2021. – С. 199-202.

Публикации в других научных изданиях:

62. Литвинова, Е.В. Использование биомодифицированного коллагенсодержащего сырья в технологии продуктов из свинины [Текст] / Г.В. Мартынов, Е.В. Литвинова // Мясные технологии. – 2016. – № 9 (165). – С. 85-88.

63. Литвинова, Е.В. Щелочные протеиназы – средство для улучшения свойств коллагенсодержащего сырья [Текст] / С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова, Е.И. Титов // Мясные технологии. – 2016. – № 8 (164). – С. 42-44.

64. Литвинова, Е.В. Многофункциональный комплекс для продуктов из мяса птицы [Текст] / С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова, Е.И. Титов // Мясные технологии. – 2016. – № 7 (163). – С. 50-51.

65. 78. Литвинова, Е.В. Пищевые добавки: особенности производства и регулирование применения в мясных продуктах [Текст] / В.В. Никитин, Е.В. Литвинова // Мясные технологии. 2017. – № 4 (172). – С. 50-55.

66. Литвинова, Е.В. Амарант как нетрадиционный источник белка для мясных продуктов [Текст] / С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова, Н.К. Джамалов // Мясные технологии. 2017. – № 11 (179). – С. 40-43.

67. Литвинова, Е.В. К вопросу реализации системы безопасности на производстве колбасных изделий [Текст] / С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова, И.В. Глазкова // Мясные технологии. 2017. – № 2 (170). – С. 16-19.

68. Литвинова, Е.В. Использование фитокомпонентов для сохранения потребительских свойств мясных продуктов [Текст] / С.Н. Кидяев, Е.В. Литвинова // Мясные технологии. 2017. – № 7 (175). – С. 36-39.

69. Литвинова, Е.В. Свекловичная и морковная клетчатки в технологии рубленых полуфабрикатов [Текст] / В.В. Никитин, Е.В. Литвинова // Мясные технологии. 2017. – № 8 (176). – С. 16-19.

70. Литвинова, Е.В. Математическое моделирование многофункциональных модулей для специализированных мясных продуктов [Текст] / Е.И. Титов, Е.В. Литвинова, М.А. Никитина // Мясные технологии. – 2017. – № 3 (171). – С. 49-51.

71. Литвинова, Е.В. Полезный симбиоз яичной скорлупы и моркови для мясных продуктов [Текст] / С.Н. Кидяев, В.В. Никитин, Е.В. Литвинова // Мясные технологии. 2018. – № 2 (182). – С. 18–21.

72. Литвинова, Е.В. Мицеллированная форма аскорбиновой кислоты для мясных продуктов/ Т.А. Саранцев, О.А. Кудряшова, Е.В. Литвинова// Мясные технологии. 2018. – № 2 (182). – С. 22-25.

73. Литвинова, Е.В. Фитокомпоненты черной смородины в технологии мясных продуктов [Текст] / Е.И. Макарашева, Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // Мясные технологии. 2018. – № 6 (186). – С. 50-52.

74. Литвинова, Е.В. Рапсовое масло как источник ПНЖК для мясных продуктов [Текст] / В.В. Никитин, Е.В. Литвинова // Мясные технологии. 2018. – № 8 (188). – С. 18-22.

75. Литвинова, Е.В., Кровь убойных животных как источник биологически активных веществ [Текст] / В.Л. Лапшина, А.А. Герасимчук, Е.В. Краснова, М.В. Невзорова, Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // Мясные технологии. – 2019. – № 7 (199). – С. 46-49.

76. Литвинова, Е.В. Влияние научно обоснованных технологий переработки пищевого сырья на качество изделий на мясной основе [Текст] / Е.В. Литвинова,

А.Ю. Соколов, Е.И. Титов, Д.И. Шишкина // Товаровед продовольственных товаров. 2019. – № 2. – С. 63-66.

77. Литвинова, Е.В. Уметь воспользоваться многолетним опытом на пути к успеху [Текст] / Мясные технологии. 2019. – № 2 (194). – С. 54-58.

78. Литвинова, Е.В. Использование отходов от переработки кальмаров для получения белкового гидролизата и полифункционального пищевого комплекса на его основе [Текст] / Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев, Н.Ю. Зарубин // Рыбное хозяйство. 2019. – №4. – С. 99–105.

79. Литвинова, Е.В. Функциональное питание – особое направление в пищевой индустрии [Текст] / Мясные технологии. 2019. – № 12 (204). – С. 56-60.

80. Зарубин, Н.Ю. Разработка комплексной технологии переработки органических отходов рыбоперерабатывающих предприятий на коллагенсодержащие гидролизаты пищевого назначения [Текст] / Труды ВНИРО. Технология переработки водных биоресурсов // О.В. Бредихина, Н.Ю. Зарубин. 2019. – Т. 176. – С. 109–119.

81. Литвинова, Е.В. Кровь убойных животных как источник биологически активных веществ [Текст] / Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // Мясные технологии. 2019. – № 7 (199). – С. 46-49.

82. Литвинова, Е.В. Стерилизованные паштеты из мяса птицы функциональной направленности [Текст] / Е.В. Литвинова, С.Н. Кидяев // Мясные технологии. 2020. – № 9 (213). – С. 42-48.

83. Литвинова, Е.В. О возможности использования продуктов переработки амаранта в мясных системах [Текст] / В.В. Никитин, Е.В. Литвинова, Е.И. Титов // Health, Food & Biotechnology. 2020. – Т.2. – №3. – С. 67-77.