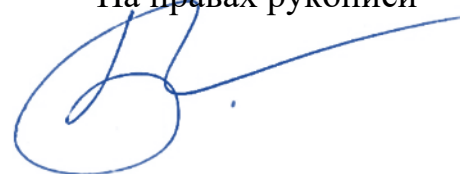


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

На правах рукописи



Брашко Иван Сергеевич

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ
И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ПИЩЕВЫХ СИСТЕМАХ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

Диссертация на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Донскова Людмила Александровна

Екатеринбург – 2025

Оглавление

Введение.....	4
1 Аналитический обзор научно-технической литературы.....	12
1.1 Свойства, место и роль коллагеновых продуктов в пищевой промышленности, виды и характеристика.....	12
1.2 Технология производства коллагеновых продуктов, пищевых добавок и ингредиентов, методы, современные вызовы и решения.....	19
1.3 Принцип действия, активаторы и стабилизаторы коллагеновых продуктов, пищевых добавок и ингредиентов.....	26
1.4 Научно-практическое обоснование использования коллагеновых продуктов, пищевых добавок и ингредиентов в пищевых системах	32
Заключение по главе 1	40
2 Организация эксперимента, объекты и методы исследования.....	43
2.1 Основные этапы исследований и их характеристика.....	43
2.2 Объекты и методы исследования	45
3 Технология получения коллагенсодержащей пищевой добавки и оценка ее эффективности	58
3.1 Получение ферментолизата – основы коллагенсодержащей пищевой добавки, оценка его свойств и сравнение с коммерческими аналогами.....	58
3.2 Технология, характеристика, функциональные параметры и безопасность коллагенсодержащей пищевой добавки	76
Заклучение по главе 3	93
4 Практическая реализация применения коллагенсодержащей пищевой добавки в мясных системах	96
4.1 Исследование и обоснование функционально-технологических свойств мясных фаршей с использованием коллагенсодержащей пищевой добавки.....	96

4.2 Разработка рецептуры и технологии мясной продукции	
с коллагенсодержащей пищевой добавкой и ее оценка.....	102
4.3 Разработка рецептуры и товароведная оценка паштета	
с коллагенсодержащей добавкой	113
4.4 Определение срока годности и режима хранения для готовой продукции	119
4.5 Расчет технико-экономических показателей производства	
коллагенсодержащей пищевой добавки	120
Заключение по главе 4	122
Заключение	126
Список сокращений и условных обозначений	128
Список литературы	129
Приложение А Технические условия ТУ 201464-089-02069214-2023	
«Ферментный препарат из рыбного сырья»	162
Приложение Б Техническая инструкция ТИ 201464-089-02069214	
по производству ферментного препарата из рыбного сырья.....	163
Приложение В Технические условия ТУ 929150-091-02069214-2025	
«Коллагенсодержащая пищевая добавка»	164
Приложение Г Технические условия ТИ 929150-091-02069214-2025	
«Коллагенсодержащая пищевая добавка»	165
Приложение Д Программа для расчета оптимальных параметров	
ферментативного гидролиза коллагенсодержащего сырья.....	166
Приложение Е Акт о выработке опытных образцов.....	167
Приложение Ж Документы, подтверждающие внедрение результатов	
исследования	168

Введение

Актуальность темы исследования. Разработка и производство пищевых продуктов с использованием методов современной биотехнологии и пищевых ингредиентов, включая пищевые ферменты, рациональное использование низко-сортного сырья и ресурсосбережение являются векторами, входящими в перечень приоритетных направлений фундаментальных и поисковых научных исследований на 2021–2030 гг., утвержденных распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р «Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.)».

Решение проблемы обеспечения населения полноценными мясными продуктами неразрывно связано с рациональным и экономным расходованием ресурсов. При переработке крупного рогатого скота, птицы и рыбы создаются значительные объемы побочного сырья, неиспользуемого в силу низких потребительских свойств, однако обладающего высоким количеством белка. Количество побочных сырьевых ресурсов при переработке крупного рогатого скота достигает 42,7 %, свиней – 36,5 % от живого веса, в тушах животных и птицы на соединительные ткани приходится 16 %, что составляет значительный сырьевой ресурс. На рыбоперерабатывающих предприятиях отходы (головы, чешуя, кожа, плавники, позвоночные хребты, внутренности) составляют 50–70 % массы исходного сырья. В целом по России уровень промышленной переработки вторичных ресурсов пищевой промышленности не превышает 20 % от образуемой массы, что снижает экономическую эффективность технологических процессов и приводит к экологическим проблемам. Утилизация побочного сырья вместо его комплексной переработки – это не только потери ценного пищевого и кормового белка и макро-, микроэлементов, но и огромные денежные убытки, приводящие к повышению себестоимости вырабатываемых продуктов.

Вовлечение в производство мясных продуктов побочного сырья в виде соединительной ткани как ценного источника животного белка – коллагена, являю-

щегося строительным материалом, трансформация животных белков прочных структур за счет перевода их в усвояемую форму с помощью различных технологий способствуют созданию продуктов на их основе, отвечающих современным представлениям о питании и белковой составляющей.

Вместе с тем традиционные методы обработки соединительнотканного коллагенсодержащего сырья считаются неэффективными и нецелесообразными. В связи с этим требуется разработка рациональной и ресурсосберегающей технологии использования вторичных ресурсов, в том числе коллагенсодержащего сырья.

Биотрансформация вторичного коллагенсодержащего сырья ферментативным способом и его использование в производстве мясных продуктов представляет собой эффективный подход к решению данной проблемы.

Ферментная обработка коллагенсодержащего сырья выделяется как наиболее перспективное направление в его использовании. В результате обработки сырья ферментами достигается улучшение важных характеристик, таких как влагосодержание, способность удерживать влагу, а также увеличение содержания некоторых аминокислот. Особо следует отметить, что обработка ферментами облегчает процесс отделения мяса от кости, что важно с позиции оптимизации производственных процессов и получения ценных продуктов.

В этом контексте выбор ферментов для обработки имеет решающее значение. Отбор ферментов, способных обеспечить положительную динамику по физико-химическим и органолептическим характеристикам сырья, представляет собой ключевой этап процесса. Эффективные ферменты способны дополнительно подчеркнуть потенциал коллагенсодержащего сырья и сделать его более пригодным в технологии пищевых систем.

Таким образом, ферментная обработка становится важной стратегией для оптимизации использования коллагенсодержащего сырья и создания продуктов с улучшенными функциональными характеристиками, что способствует совершенствованию современных производственных процессов и расширению возможностей его применения в пищевых системах.

Степень разработанности темы исследования. Исследованиям вопросов переработки вторичного сырья и вовлечения его в производство мясных продуктов посвящены работы Л. В. Антиповой, О. В. Бредихиной, А. А. Борисенко, И. А. Глотовой, Н. В. Долгановой, В. Н. Измайловой, А. И. Жаринова, Л. С. Кудряшова, А. Б. Лисицына, О. Я. Мезеновой, И. А. Рогова, Е. И. Титова, R. A. Lawrie, A. Veis, P. Hantzinger, G. Heinz, C. Warner и др.

Существенный вклад в раскрытие вопросов проведения гидролиза коллагенсодержащего сырья и конверсии с целью использования в производстве пищевых систем внесли Л. В. Римарева, Е. И. Титов, Е. М. Серба, О. О. Бабич, Т. М. Гиро, М. Б. Ребезов, зарубежные ученые U. Eckhard, D. Y. Wang, M. H. Zhang и др.

Значительный вклад в методологию, моделирование и разработку новых пищевых систем с использованием функционально-технологических добавок внесли отечественные ученые Н. В. Заворохина, И. Ю. Потороко, В. Г. Попов, В. М. Позняковский, В. А. Помозова, Е. Д. Рожнов, О. В. Чугунова, М. Н. Школьников и др.

В результате аналитического обзора трудов отечественных и зарубежных ученых установлено, что остаются открытыми вопросы о возможности использования вторичных ресурсов рыбной, мясо- и птицеперерабатывающей промышленности в качестве источника для получения ферментных препаратов и пищевых добавок, технологии их применения в производстве мясных продуктов, механизме и эффективности воздействия на потребительские свойства получаемой продукции. Проведенные исследования подчеркивают многогранность и не исчерпывают потенциал научной тематики, обуславливая ее актуальность.

Целью диссертационного исследования явилась разработка технологии коллагенсодержащей пищевой добавки на основе ферментативного гидролиза вторичных ресурсов рыбной и птицеперерабатывающей промышленности и ее применение в мясных системах.

Для достижения цели исследования были определены и последовательно решены следующие **задачи**:

1) провести анализ ассортимента и свойств коллагенсодержащих продуктов, добавок и ингредиентов, особенностей их получения и возможности использования в технологии мясных систем;

2) обосновать выбор сырья для разработки рецептуры и технологии получения ферментолизата, определить оптимальные параметры производства с целью повышения протеолитической активности ферментолизата;

3) разработать технологию коллагенсодержащей пищевой добавки для применения в мясных пищевых системах;

4) провести оценку качества, безопасности, функционально-технологических свойств и эффективности применения коллагенсодержащей пищевой добавки в технологии мясных систем;

5) подтвердить экспериментальными исследованиями целесообразность использования коллагенсодержащей пищевой добавки и оценить ее вклад в качество и биологическую ценность мясных фаршей и паштетов;

6) провести оценку экономической эффективности и разработать нормативную документацию.

Научная новизна. Работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 10, 11, 13, 36 паспорта научной специальности 4.3.3. Пищевые системы (технические науки).

1. Научно обосновано применение вторичных ресурсов рыбного производства – чешуи, кожи и плавников для получения ферментолизата и его использования для гидролиза коллагенсодержащего сырья – кожи шеи цыплят-бройлеров в технологии коллагенсодержащей пищевой добавки; обоснованы параметры получения ферментолизата: рН, время гидролиза, температура, влияющие на биотрансформацию сырья (п. 36 паспорта научной специальности 4.3.3).

2. Доказаны функционально-технологические свойства (влагосвязывающая, гелеобразующая и жиरोудерживающая способность) разработанной коллагенсодержащей пищевой добавки с соотношением используемых компонентов (%) – кожи цыплят-бройлеров и ферментолизата 99,5:0,5, и обосновано ее применение в мясных системах (п. 13 паспорта научной специальности 4.3.3).

3. На основании результатов исследования органолептических, функционально-технологических свойств и микроструктуры мясных систем подтверждена эффективность коллагенсодержащей пищевой добавки в биотрансформации соединительной ткани (п. 10 паспорта научной специальности 4.3.3).

4. Научно обоснована и экспериментально подтверждена эффективность использования коллагенсодержащей пищевой добавки с содержанием коллагена 64,0 % в разработанных рецептурах мясных фаршей и паштетов как белкового обогатителя (п. 11 паспорта научной специальности 4.3.3).

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследований вторичных ресурсов рыбного производства и птицеперерабатывающей промышленности в технологии получения ферментолизата;
- рецептура, технология получения коллагенсодержащей пищевой добавки и результаты оценки ее свойств;
- показатели качества и функционально-технологические свойства мясных систем с коллагенсодержащей пищевой добавкой;
- результаты практической апробации коллагенсодержащей пищевой добавки в технологии мясных фаршей и паштетов.

Теоретическая и практическая значимость. *Теоретическая значимость* исследования заключается в расширении и систематизации знаний об использовании ферментного препарата из вторичных продуктов рыбного сырья в качестве биомодификатора коллагенсодержащего сырья с целью улучшения качества мясного сырья и готовой продукции из него.

Практическая значимость работы заключается в разработке нового технического решения по обработке коллагенсодержащего сырья ферментоллизатом из вторичных продуктов переработки рыбы с последующим применением в технологии мясных систем; в определении оптимальной концентрации ферментного препарата из рыбного сырья и режимов гидролиза коллагенсодержащего сырья; разработке технологии производства мясных фаршей и паштетов с использованием коллагенсодержащей пищевой добавки.

Разработаны технические условия ТУ 201464-089-02069214-2023 «Ферментный препарат из рыбного сырья», ТУ 929150-091-02069214-2025 «Коллагенсодержащая пищевая добавка» и соответствующие технологические инструкции.

Разработана программа для ЭВМ для расчета оптимальных параметров ферментативного гидролиза коллагенсодержащего сырья. Проведена промышленная апробация технических решений на предприятиях, что подтверждено актами о внедрении.

Материалы диссертации используются в учебном процессе на кафедре биотехнологии и инжиниринга ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» при подготовке бакалавров по направлению 19.03.01 «Биотехнология», профиль «Пищевая биотехнология».

Работа является комплексной и включает в себя элементы научного исследования и практического применения, результаты которых получены автором лично либо при его непосредственном участии.

Методология исследований. Методологической основой работы являются труды отечественных и зарубежных ученых по вопросам получения ферментных препаратов из рыбного сырья, применения коллагенсодержащих добавок и активаторов в пищевых системах. Для решения поставленных задач применялись общенаучные подходы, при проведении экспериментальных исследований использовались классические методы и методики, а также специальные методы исследований.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности подтверждена результатами экспериментальных исследований, большими объемами экспериментальных данных, обработанных методами расчета статистической достоверности измерений с использованием серии компьютерных программ Microsoft Office Word и Excel для Windows 11, Statistica 13.

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских (национальных) научно-практических мероприятиях: Всероссийская научно-практическая конференция «Научное сопровождение деятельности учреждений Роспотребнадзора» (Екатеринбург, 2019); Все-

российская молодежная научно-практическая конференция «Молодежь – науке – XI. Актуальные проблемы туризма, гостеприимства, общественного питания и технического сервиса» (Сочи, 2020); Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная Году памяти и славы (75-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.) «Проспект Свободный – 2020» (научное направление «Питание. Качество. Технологии») (Красноярск, 2020); VI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Проблемы развития рынка товаров и услуг: перспективы и возможности субъектов РФ» (Красноярск, 2020); Всероссийская научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Горизонты биотехнологии» (Орел, 2020); Международная научно-практическая онлайн-конференция «Актуальные проблемы естественных и сельскохозяйственных наук» (Ош, Киргизская Республика, 2021); X и XI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии» (Кемерово, 2022, 2023); Международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров «Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК» (Курск, 2023); XI Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании» (Екатеринбург, 2024); Международная научно-практическая конференция им. Д. И. Менделеева, посвященная 60-летию ТИУ (Тюмень, 2024).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 18 научных работ, из них 6 статей в научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук; получено одно свидетельство о регистрации программы ЭВМ.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, в том числе аналитического обзора научно-технической литературы, методической части, результатов исследования и их анализа, заключения, списка литературы и семи приложений. Основное содержание изложено на 168 страницах печат-

ного текста и включает 46 таблиц и 32 рисунка. Список литературы включает 261 информационный источник, из них 67 – зарубежных авторов.

Благодарности. Автор выражает благодарность руководителю Высшей школы биотехнологии Уральского государственного лесотехнического университета, доктору технических наук, профессору Тихонову Сергею Леонидовичу за первичное руководство исследовательской деятельностью и за ценные замечания по ходу выполнения диссертационного исследования; заведующему кафедрой биотехнологии и инжиниринга Уральского государственного экономического университета, кандидату технических наук, доценту Лазареву Владимиру Александровичу за всестороннюю поддержку во всех начинаниях; сотрудникам кафедры, а также заведующему лабораторией биотехнологии Единого лабораторного комплекса Гуловой Тамаре Ивановне и инженерам лаборатории.

1 Аналитический обзор научно-технической литературы

1.1 Свойства, место и роль коллагеновых продуктов в пищевой промышленности, виды и характеристика

Улучшение и стабилизация качества выпускаемой пищевой продукции в условиях недостаточности, нестабильного состава и свойств поступающего сырья на переработку в различных отраслях пищевой и перерабатывающей промышленности возможны за счет применения пищевых добавок, охватывающих все компоненты пищевой системы и позволяющих существенным образом изменять функционально-технологические свойства пищевых систем, получая при этом не только технологический, но и экономический и социальный эффект. Подтверждением этого положения являются опубликованные результаты исследований И. Ю. Потороко и ее коллег [148], В. Г. Попова и его коллег [142; 157], В. М. Позняковского и Ю. Ю. Куркиной [107; 108], В. А. Помозовой и ее коллег [37], Е. Д. Рожнова, М. Н. Школьниковой и их коллег [196; 247], О. В. Чугуновой и ее коллег [32; 93], Н. В. Долгановой и ее коллег [179; 195], А. А. Борисенко и его коллег [38; 202] и др.

Создание продуктов, в том числе белковых препаратов, добавок и ингредиентов, в составе которых присутствует коллаген, является одним из направлений, активно развивающихся в научно-практической деятельности организаций пищевой отрасли. Такие продукты могут использоваться как самостоятельно, так и в виде добавок и ингредиентов, как рецептурные компоненты.

Различным аспектам использования коллагена, его необходимости для организма человека и роли коллагенсодержащих продуктов в технологии пищевых систем посвящены научные работы отечественных и зарубежных ученых.

Доказано, что коллаген является наиболее важным белком, вырабатываемым человеческим организмом, он в основном образуется аминокислотами гли-

цином (33 %), пролином и гидроксипролином (22 %) (первичная структура) в триплексной спирали, которая образована тремя α -цепями. Идентифицировано почти 28 типов коллагена. Структура наиболее распространенного фибриллярного коллагена, который играет структурную роль, внося вклад в молекулярную архитектуру, форму и механические свойства тканей, такие как прочность на разрыв в коже и устойчивость к растяжению в связках, представлена на рисунке 1.

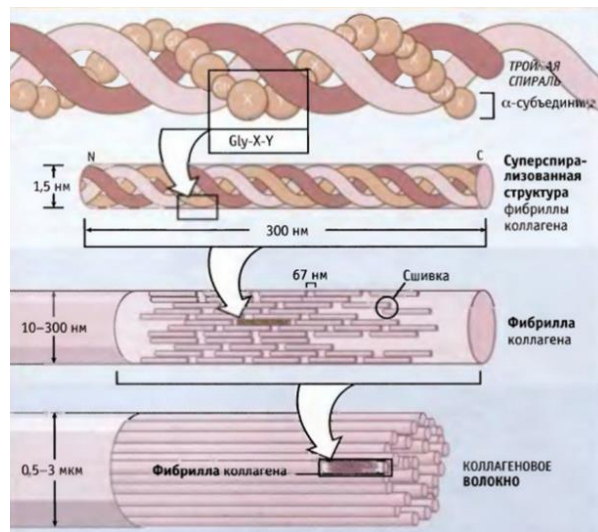


Рисунок 1 – Схематическое строение тройной спиральной структуры коллагена, организация витой структуры в фибрилле и фибрилл в коллагеновом волокне

Свойства и структурно-функциональные особенности получения коллагена, способы его производства, а также особенности его практического применения представлены в научных трудах А. Д. Неклюдова и А. Н. Иванкина [136].

Характеристика и подробное описание коллагена и его функций в организме приведены в научной публикации Ю. П. Потехиной [147]. Исследователем подчеркивается, что коллаген выполняет прежде всего опорную функцию, является строительным материалом, что важно для репарации тканей организма человека, выполняет также информационную и регуляторную функции, играет важную роль в морфогенезе и обеспечении кожной чувствительности.

В пищевой промышленности коллаген применяется в производстве продуктов питания и напитков в качестве белковых пищевых добавок и носителей, как пищевая пленка и покрытие.

На современном рынке присутствуют три вида коллагена: животный, морской и растительный, при этом наиболее известным и хорошо изученным является коллаген животный. В пищевой промышленности используют также белки из микробного сырья.

Растительный коллаген представляет собой гидролизированный протеин пшеницы или полученный из других источников (например, фасоли и т. д.). Такой коллаген рассматривается как альтернатива натуральному коллагену животного происхождения, так как обладает свойствами растворимого коллагена, однако в составе его аминокислот нет оксипролина и оксилизина, что ставит под сомнение аналогичность его действия. Л. В. Антипова с коллегами подчеркивают маркетинговое происхождение популярности фитоколлагена [14].

В связи с вышесказанным поиск и исследования в данном направлении ориентированы на получение гидролизатов белка. Наиболее перспективными источниками растительного белка являются орехи, зеленая масса и семена зерновых, бобовых, масличных и злаковых культур [53].

Гидролизаты белков, как правило, обладают улучшенными функциональными свойствами в сравнении с исходными белками [53]. Гидролиз белка позволяет получить гидролизаты с различными комбинациями функциональных свойств, что позволяет их использовать в разных продуктах питания. Например, высокая растворимость белка необходима для образования эмульсий и пен, но нежелательна для теста; высокая пенообразующая способность важна для взбитых кондитерских изделий (кремов, мороженого и т. п.), но нежелательна для напитков, не имеющих пены [86].

В результате проведенных исследований [29] установлено, что белковые изоляты из кукурузы, овса, льна и гороха пригодны для получения ингредиентов для функционального питания. Для качественного извлечения белковых веществ требуется оптимальный подбор физико-химических параметров, таких как время, температура гидролиза, изоэлектрическая точка.

Незаменимыми ингредиентами в производстве пищевых продуктов являются препараты соевых белков. Их добавление – один из распространенных методов

улучшения качества мясных продуктов из низкобелкового мясного сырья [6]. Доказаны положительные свойства препарата на основе изолированных белков сои: высокие водо- и жиросвязывающие, эмульгирующие и гелеобразующие свойства, по своим функциональным свойствам препарат приближается к солерастворимому мышечному белку миозину. Из этого следует, что исследуемый белковый препарат является прекрасным связующим, стабилизирующим, структурообразующим и адгезивным агентом для мясных, жировых эмульсий и фаршей [71].

В исследовании [85] были получены гидролизаты соевого белка с использованием протеолитических ферментов алкалазы и протамекса с оценкой степени гидролиза и функциональных свойств. Наибольшее значение степени гидролиза составило 20 % при выходе 19,77 % и содержании белка 51,64 %.

Коллагеновые продукты, добавки и ингредиенты животного происхождения являются самыми распространенными на сегодняшний день. В работе А. А. Семенов и др. подчеркивается, что основными источниками коллагеновых пептидов выступают бычья шкура, кости, свиная кожа и др. [167]. К. И. Спиридонов и Е. К. Туниева [175] указывают, что разнообразие белковых препаратов животного происхождения обусловлено такими факторами, как вид используемого сырья, технологии производства, функционально-технологические свойства и др.

Животные белки можно разделить на три укрупненных группы: соединительнотканые, молочные и белки крови. В соответствии с выбранным направлением диссертационных исследований рассмотрена группа соединительнотканых белков. Для производства данного вида белков применяют различное мясное коллагенсодержащее сырье: свиную шкуру, говяжий спилок, соединительную ткань от жиловки мяса и др.

Вопросам изучения свойств коллагеновых продуктов животного происхождения, их получению и применению в различных отраслях посвящены исследования отечественных и зарубежных ученых [208], в которых установлены высокая способность к гидратации и эмульгированию жира с образованием белково-жировых эмульсий, хорошая сочетаемость с другими компонентами рецептуры [8]. Коллагеновые белки обладают высокими влагосвязывающими и эмульгиру-

ющими свойствами, нейтральным вкусом, не имеют химического привкуса. Однако биологическая ценность коллагеновых белков определяется отсутствием такой незаменимой аминокислоты, как триптофан [7].

Производство животных белков является полностью экологически чистым, так как не предполагает использование химических препаратов. Вследствие этого их стоимость гораздо выше стоимости растительных белковых препаратов, что отталкивает некоторых мясопереработчиков [48] и свидетельствует о необходимости разработки и расширения базы отечественных коллагеновых продуктов.

В последнее десятилетие активизировались научные исследования по привлечению к производству коллагеновых продуктов сырьевых ресурсов, включая вторичные ресурсы рыбной отрасли.

По данным С. Б. Болговой и ее коллег, морской коллаген начали добывать из кожи морских рыб примерно с 70-х годов XX в. Многие исследователи уделяют ему особое внимание, потому что рыбий коллаген минимально отличается от человеческого и более приближен к нему по биохимическому составу, чем коллаген крупного рогатого скота [20].

Многие виды рыб и нерыбных продуктов по ряду причин не могут быть обработаны по традиционной технологии, что способствовало появлению и развитию новых комплексных способов технологической обработки объектов рыбного промысла, положенных в основу не только производства продуктов функционального назначения, пищевого рыбного фарша, но и разнообразных рыбных белковых концентратов, изолятов, гидролизатов [28].

Следует отметить работы исследователей под руководством Л. В. Антиповой, посвященные разработке технологий получения коллагеновых продуктов из рыбного сырья, изучению их свойств и практической апробации. В исследовании [20] объектом исследования выступали шкуры рыб внутренних водоемов, наиболее распространенных видов Центрально-Черноземного региона: толстолобик, сазан, белый амур, щука. Были получены и исследованы коллагеновые рыбные дисперсии и установлен ряд их преимуществ: эластичность, безопасность (отсутствие губчатой энцефалопатии (болезнь бешенства крупного рогатого скота), значи-

тельно снизившей объемы производства коллагенов животного происхождения); лучшая восприимчивость органами и тканями человека в сравнении с животными коллагенами (коллаген рыбного происхождения максимально подобен человеческому); гипоаллергенность; возможность получения функциональных белков (коллагенов) в виде гидратов, позволяющих сохранять биологическую активность вне живого организма.

В таблице 1 представлены данные сравнительного анализа коллагенов из рыбного происхождения и полученного из голяевого спилка крупного рогатого скота.

Таблица 1 – Данные сравнительного анализа коллагенов животного происхождения [222; 241]

Показатель	Субстанция 2 % раствор	
	Спилоч КРС	Шкура толстолобика
Подлинность	Окрашивание в фиолетовый цвет	
Прозрачность	Прозрачный	
Цветность	0,1 % раствор коллагена в воде бесцветен	
рН	3,2	4,2
Массовая доля сухих веществ, %	1,85	1,76
Микробиологическая чистота	Категория 1.2. Б	
Массовая доля коллагена (по оксипролину), %	1,75	0,92

Таким образом, исследователями экспериментально подтверждено различие в массовой доле коллагена, остальные показатели не имели достоверных различий; кроме того, по мнению исследователей, коллагены рыбного происхождения не уступают по своему действию аналогу животного происхождения и даже превосходят его по основным оценочным параметрам [13], в том числе аминокислотному составу.

В таблице 2 представлен аминокислотный профиль разработанной коллагеновой субстанции в сравнении с животным коллагеном.

Таблица 2 – Аминокислотный профиль коллагеновой субстанции [207; 217]

Аминокислота	Субстанция 2 % раствор (шкура толстолобика), %	Отклонения в сравнении с животным коллагеном
Изолейцин	3,83	+0,94
Лейцин	1,98	–0,23
Тирозин	0,99	+0,13
Фенилаланин	2,49	+0,14
Гистидин	0,77	–0,40
Лизин	4,16	–1,36
Аргинин	8,33	+1,53
Аспарагиновая кислота	7,12	+0,86
Треонин	2,46	+0,50
Серин	4,57	+1,60
Глутаминовая кислота	11,36	+1,57
Пролин	11,67	–1,43
Оксипролин	12,93	+2,10
Глицин	6,72	+0,69
Аланин	10,51	+3,92
Валин	2,65	+1,33
Метионин	1,03	–0,51

Гидролизаты мышечных белков рыбы с хорошим питательным составом, аминокислотным профилем и биологической активностью легко всасываются в желудочно-кишечном тракте, а их биодоступность и стабильность из-за уменьшения количества фрагментов привлекли внимание с точки зрения производства ценных пищевых ингредиентов [76; 77; 84; 90].

При изучении литературных данных установлено, что на современном этапе при производстве коллагеновых продуктов особое внимание уделяется переработке пищевых отходов в нетрадиционные источники белка. Это связано с несколькими причинами. Во-первых, возрастает потребность в коллагене и продуктах на его основе, что требует разработки принципиально новых подходов к использованию коллагеносодержащих ресурсов. Во-вторых, это значительно удешевляет производство белка для пищевых или кормовых целей. В-третьих, ис-

пользование вторичных ресурсов переработки основного сырья в мясной и птицеперерабатывающей промышленности способствует рациональному его использованию и снижает экологические проблемы, связанные с их утилизацией [1; 2; 23]. Побочные продукты переработки воды, скота и птицы потенциально могут стать полезными продуктами с более высокой стоимостью [22]. В работах И. А. Рогова, Э. С. Токаева, Л. В. Антиповой, А. И. Жаринова, Е. В. Литвиновой, И. А. Готовой и др. обоснованы подходы к рациональному использованию коллагенсодержащего сырья в технологии мясных продуктов. Д. Ю. Исмаилова и др. указывают на технологии, которые позволят наиболее полно использовать природное сырье, в том числе на предприятиях птицеперерабатывающей промышленности. В-четвертых, разрабатываемое направление полностью отвечает основным положениям ряда стратегических документов, в которых рациональное использование низкосортного сырья и ресурсосбережение являются векторами, входящим в перечень приоритетных направлений фундаментальных и поисковых научных исследований на 2021–2030 гг., утвержденных распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р.

1.2 Технология производства коллагеновых продуктов, пищевых добавок и ингредиентов, методы, современные вызовы и решения

Научные исследования свидетельствуют, что для организма человека необходим перевариваемый, усвояемый коллаген [6], так как нативный коллаген плохо усваивается организмом человека, а гидролизированный – на 75–80 %. В связи с этим в пищевой промышленности востребован коллаген различной степени очистки и деградации.

Перспективными и новаторскими методами получения коллагеновых продуктов являются следующие.

Лучевая обработка – воздействие гамма-облучения на белки, которое может быть как прямым, так и косвенным. Прямой эффект излучения заключается в непосредственном поглощении белковыми молекулами, что приводит к их изменению, что описано M. Bahreinipour и др. [200]. При косвенном воздействии излучение сначала воздействует на молекулы воды. Воздействие гамма-облучения на белки предполагает необратимое изменение на молекулярном уровне, вызывающее разрыв ковалентных связей в полипептидных цепях. Однако данный метод мало изучен, и нельзя утверждать, что с его помощью можно получить белки высокого качества, которые в дальнейшем можно использовать как пищевую добавку [244].

Мембранные методы. В технологии получения белковых концентратов широко применяются методы ультрафильтрации, основанные на использовании полупроницаемых мембран с определенными размерами пор (0,1–10 мкм), которые удерживают крупные молекулы, пропускающие низкомолекулярные соединения. Так, в исследовании J. C. Ribeiro и др. таким образом получен очищенный белковый концентрат [243].

В результате применения ультрафильтрационных методов очистки и концентрирования эффективность разделения белковых веществ повышается за счет уменьшения объема обрабатываемой жидкости. Высокая эффективность применения мембранных методов достигается при дополнительной диалфильтрации с целью вымывания низкомолекулярных соединений, что описано в исследовании N. S. M. Sabri и др. [249].

Ультразвуковая обработка. В последнее время все большее внимание исследователей уделяется этому методу воздействия на пищевые продукты с целью улучшения их качества. Например, при оценке воздействия ультразвуковой обработки (20/40 кГц) в сочетании с энзимолизом на шрот подсолнечника для извлечения из него изолятов и гидролизатов белков было выявлено, что размер белковых частиц уменьшился по сравнению с контролем, повысились растворимость, пенообразующие и эмульгирующие свойства, но снизилась устойчивость пены и изменилась структура частиц. Воздействие ультразвуком сильнее влияет на бел-

ковый продукт при ведении процесса в УЗ-зонде по сравнению с УЗ-ванной. Ультразвуковое воздействие на белковый изолят снижает содержание фенольных веществ и способствует образованию желтоватого цвета [106].

Использование жидкого диоксида углерода и сверхтонкого измельчения белкового шрота методом газожидкостного взрыва позволяет до минимума снизить остаточное содержание хлорогеновой и кофейной кислот в белковых препаратах и получить продукт высокого качества для конструирования продуктов питания для спортсменов [210].

Микроволновая экстракция. Применяется для более эффективного извлечения хлорогеновой кислоты из белкового шрота за счет разрушения клеток под действием микроволнового излучения (100–300 Вт). Дополнительная экстракция этанолом позволяет выделять хлорогеновую кислоту из шрота подсолнечника и использовать ее в качестве антиоксидантной добавки [237].

Экструзия. Используется для получения текстуратов из растительных белков. В основном эта технология отработана для белка сои. Технология описана в работе Д. В. Зенковой и А. В. Борисовой [83]. Существуют огромные возможности экструзии с использованием криогенных и сверхкритических жидкостей для структурной модификации крахмала, белков и других питательных веществ. Экструзионные технологии способствуют максимальному удержанию питательных веществ, улучшают биодоступность и усвояемость за счет минимального тепловыделения и потребления энергии во время обработки [12; 23].

Ферментативная модификация является безопасным и эффективным методом улучшения функциональных свойств белка, поскольку она упрощает условия эксплуатации, сокращает образование побочных продуктов и более безвредна для окружающей среды [85; 137].

Многие исследователи и производители предпочитают использовать ферментативный гидролиз, поскольку он более безопасен по сравнению с химическим гидролизом. Промышленное применение кислотного или щелочного гидролиза является экономически эффективным и требует много времени, а агрессив-

ные химические вещества могут снизить питательные качества пищевого продукта и вызвать экологически неприемлемое загрязнение.

Ферментация (энзимолиз, протеолиз) – это метод применения протеазы для образования пептида из нативного белка. Использование различных ферментов – от коммерческих препаратов до натуральных ферментосодержащих систем (подсырная сыворотка, вытяжка пророщенных семян подсолнечника) – позволяет изменять фракционный состав получаемого белкового гидролизата, влиять на его цвет и функциональные свойства.

К важным характеристикам коллагенсодержащих гидролизатов относят водоудерживающую способность (ВУС) как важнейшее свойство ограниченно растворимых коллагенсодержащих гидролизатов. Зная значение ВУС, легко рассчитать содержание препарата в рецептуре, которое будет обеспечивать необходимые реологические свойства и снижение потерь при технологической обработке. Другими важными показателями являются жирудерживающая способность (ЖУС), эмульгирующая способность (ЭС), стабильность эмульсии (СЭ) [69].

Коллагенсодержащие гидролизаты объединяют влагу, укрепляют белковую матрицу и позволяют получить устойчивую стабильную водно-жировую эмульсию.

Гидролизат содержит физиологически активные аминокислоты и различные незаменимые питательные вещества, количество которых зависит от источника белка, протеазы, метода гидролиза, условий и степени гидролиза. Таким образом, он может использоваться для различных вариантов промышленного применения, в том числе в нутрицевтиках и фармацевтических препаратах для улучшения здоровья людей [31; 90].

Для получения ферментоллизатов необходимы ферментные препараты, которые находят широкое применение во всех отраслях промышленности. Порядка 55 % всех производимых ферментных препаратов применяется в пищевой промышленности (кондитерские изделия, алкогольные и безалкогольные напитки, мясная и молочная отрасли, производство упаковки) [9], при этом в структуре рынка 60 % занимают ферментные препараты микробного происхождения.

Как отмечается исследователями [25; 52], использование биологических катализаторов способствует повышению качества и пролонгированию сроков годности пищевых продуктов. Создание ферментных препаратов отечественного производства будет способствовать интенсификации применения биокаталитических методов в производстве продуктов биотехнологии, обеспечению конкурентоспособности на рынке, импортозамещению ввозимых ферментных препаратов. Таким образом, методы биоконверсии являются основными при переработке сырья, в том числе вторичного, так как специфичность ферментов независимо от их происхождения влияет на изменение фракционного состава сырья при его переработке.

При выборе катализатора следует обращать внимание на протеолитическую активность ферментных препаратов, которая характеризует степень расщепления белков в мясопродуктах. Такой подход важен для повышения качественных характеристик малоценного в пищевом отношении коллагенсодержащего сырья [25].

Анализ рынка биотехнологической продукции [9] показывает, что ферментные препараты пользуются коммерческим успехом. Так, агентство Blue Weave Consulting прогнозирует, что мировой рынок промышленных ферментов к 2027 г. будет оцениваться в 9 млрд долл. США при темпе роста 6,8 % в год [6]. Объем производства отечественных ферментных препаратов составляет порядка 1 тыс. т в год при ежегодной потребности 18 тыс. т. В совокупности это демонстрирует потенциал для развития отрасли и появления на рынке новых производителей.

Общемировая тенденция нехватки белка животного происхождения создает новые вызовы для пищевой отрасли. Это обстоятельство делает актуальным поиск методов переработки побочных продуктов вторичного сырья для получения полноценных пищевых продуктов, богатых незаменимыми макро- и микронутриентами. Одним из таких методов является ферментативный гидролиз животного или растительного сырья с целью получения белкового компонента с высокой пищевой ценностью.

Для гидролиза животного сырья в мясной промышленности применяют препараты, являющиеся источником комплекса кислых и нейтральных протеаз, которые в технологии производства оказывают направленное воздействие на ка-

чество продукции и ее усвояемость, одновременно обеспечивая эффективную переработку используемых сырьевых ресурсов [37].

Для переработки животных белков применяются ферменты – бактериальные протеазы, грибные протеазы, трансклутаминаза и др. Для каждой группы установлены свои оптимумы действия – температура и pH.

В целом для гидролиза белковых соединений применяются ферменты протеолитического действия, которые подразделяются на пептидазы и протеиназы, характеристика и механизм расщепления которых описаны Л. В. Римаревой и ее коллегами [156]; также выделяют трансклутаминазу – фермент, способный катализировать образование ковалентных связей между свободными аминокетонами в белках одного или разного происхождения [155].

На основе литературных данных [37; 51; 87] обобщены сведения о видах гидролиза, их преимуществах и недостатках (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристика видов гидролиза

Вид гидролиза	Преимущества	Недостатки
Кислотный	– скорость реакции; – исключается возможность микробного обсеменения белковых гидролизатов в результате бактерицидного действия кислоты	– трудоемкость контроля процесса; – излишнее образование соли при гидролизе; – снижение качества готового гидролизата; – усложнение технологического процесса; – полное разрушение таких аминокислот, как серин, треонин, триптофан, пролин; – высокая агрессивность среды и быстрый износ оборудования
Химический	– доступность и относительно невысокая стоимость; – бесцветные гидролизаты	– сложность процесса; – работа с экстремальными температурой и pH; – снижение пищевой ценности сырья; – низкие функциональные свойства сырья; – низкие вкусовые качества сырья; – в основном применяется для коллагенового и кератинового сырья

Продолжение таблицы 3

Вид гидролиза	Преимущества	Недостатки
Ферментативный	– широкий спектр каталитической активности; – температурная стабильность; – повышенное качество готового продукта; – увеличение выхода сырья; – экономия пищевого сырья; – ускорение технологического процесса; – высокая сохранность аминокислот	– высокий pH

Наиболее перспективным и эффективным для воздействия на мясное сырье является ферментный гидролиз. Кислотный гидролиз, несмотря на свою распространенность и скорость протекания реакции, неконкурентоспособен из-за недостаточного выхода готовой продукции и сложности технологического процесса. Химический гидролиз, обладая относительно низкой себестоимостью, достаточно трудоемок, требует экстремальных температур и pH, негативно влияет на качество готового продукта, поэтому также не может конкурировать с ферментным гидролизом. Кроме того, эти два типа экстракции являются сильно коррозионными и обуславливают высокую концентрацию соли в конечном продукте после нейтрализации [68].

Получили распространение следующие ферментные препараты для гидролиза пищевых белков: папаин, Алкалаза®, Протамекс®, Flavourzyme®, Нейтраза®, Протозим С.

Аналитический обзор литературных данных свидетельствует об активном научном поиске источников получения ферментных препаратов, способов их внедрения в промышленное производство. Нередко для биоконверсии предлагается использование водных ресурсов: рыбы и нерыбных объектов водного промысла [2; 81; 82]. Однако по причине недостаточной изученности полученных ферментов и технологии их применения темпы внедрения таких препаратов в производство пока незначительны. Кроме того, следует учитывать, что процесс производства ферментных препаратов должен предполагать максимальное вовлечение вторич-

ных продуктов, получаемых при обработке рыбной продукции, и их приближенность к производству, включая готовую продукцию.

Некоторые авторы предполагают целесообразность комбинирования растительных и животных белковых гидролизатов, так как применение полученных комбинаций в технологии мясных систем может позволить нормализовать общий химический и аминокислотный состав, компенсировать отклонения в функционально-технологических свойствах основного сырья, улучшить качественные характеристики готовой продукции, а также снизить себестоимость вырабатываемых изделий [36; 48]. Однако данные по этому направлению немногочисленны.

При применении гидролизovaných белков из вторичных ресурсов достигаются экономическая выгода и экологичность производства, увеличивается общий объем вовлеченности сырья в переработку, т. е. повышается уровень безотходности производства и увеличивается биодоступность ценных белков в связи с растущей численностью населения. Кроме того, гидролизovaný белок животного происхождения может рассматриваться как продукт с добавленной стоимостью [190].

1.3 Принцип действия, активаторы и стабилизаторы коллагеновых продуктов, пищевых добавок и ингредиентов

Аналитический обзор литературных данных показал, что коллагеновые пищевые добавки, разработка которых продолжается на протяжении нескольких десятков лет, обладают комплексом значимых свойств для пищевой промышленности [23], к которым относят эмульгирующую активность, пено-, гелеобразующую, влаго- и жирудерживающую способность и др. Результаты применения коллагенового сырья, добавок и ингредиентов в производстве различных продуктов (повышение выхода продуктов, достижение более высокой конверсии коллагеновой

и эластиновой фракций белка, повышение стабильности и обеспечение лечебно-профилактических свойств продуктов и другие результаты, свидетельствующие об эффективности применения коллагеновых продуктов) описаны и достаточно широко представлены в научной и патентной литературе. Однако отсутствует подробное описание механизма и принципов их воздействия при введении в технологии пищевых систем, что определяет еще одно направление научных исследований. Так, Н. А. Дроздова и В. В. Насонова в работе [77] приводят информацию о том, что содержание пролина и гидроксипролина в коллагеновых добавках особенно важно для желирующего эффекта, а после тепловой обработки при температуре денатурации происходящая трансформация коллагена способствует образованию соединений с меньшей молекулярной массой: желатина, желатозы, глютина, которые после охлаждения образуют прочные студни. Механизм процесса набухания коллагенов представлен в работе А. Н. Иванкина и др. [85].

Одним из направлений в области разработки пищевых добавок является поиск решений по повышению эффективности их применения, действия в пищевых системах [15; 52]. Данные вопросы рассматриваются в трех аспектах: увеличение активности ферментных препаратов, использование веществ и соединений, в том числе БАД, на стадии выращивания животных и использование активных соединений в производстве продуктов.

Для увеличения активности ферментных препаратов, которые используются в пищевых системах, применяется ряд методов:

- подбор оптимальной температуры для протекания реакции. Каждый фермент имеет свой оптимум активности, при котором отмечается пик его действия на пищевую систему. Оптимальной температурой для действия большинства ферментов является 37–45 °С. При низких температурах (0 °С или ниже) ферменты, как правило, не денатурируются, хотя активность их падает почти до нуля;

- оптимум pH среды. Подбор оптимального значения pH среды оказывает влияние на скорость протекания реакции;

– время воздействия ферментного препарата на пищевую систему. В результате длительного контакта ферментного препарата с пищевой системой ее структурно-механические свойства подвергаются более явным изменениям;

– концентрация ферментного препарата. Увеличение концентрации ферментного препарата может положительно повлиять на ход реакции. Однако слишком большая дозировка может негативно сказаться на органолептических и реологических свойствах готового продукта;

– применение активаторов. Некоторые органические вещества могут служить коферментами или активаторами для ферментных препаратов. Например, ионы кальция могут стимулировать работу определенных протеолитических ферментов, улучшая каталитическую реакцию и стабильность системы;

– предварительная подготовка мяса. Измельчение или инъекционная обработка мясных пищевых систем увеличивает площадь взаимодействия и глубину проникновения ферментного препарата;

– совместное использование ферментных препаратов. Комбинация ферментных препаратов различной направленности усиливает эффект на различные компоненты пищевых систем.

Многие ферменты активируются в присутствии специальных соединений (активаторов). Для протеолитических ферментов таковыми являются вещества, содержащие свободные SH-группы (глутатион или цистеин). Активирующее действие подобных веществ заключается в их способности восстанавливать дисульфидные связи фермента с образованием SH-групп, необходимых для проявления его каталитической активности. Цистеин является активатором для ряда ферментных препаратов растительного происхождения, таких как папаин, фицин и бромелаин, относящихся также к тиоловым протеиназам (содержащих в активном центре цистеин) [17].

В исследовании [177] разработана технология белково-липидной добавки из голов копченой кильки на основе процесса гидротермолиза. В головах копченой кильки содержится большое количество полезных биологически активных ве-

ществ: белки с незаменимыми аминокислотами, жиры с полиненасыщенными жирными кислотами, витамины группы В.

В результате анализа нутрициологических рекомендаций к питанию пожилых людей с учетом банка данных по основному сырью и ингредиентам, учитывая направленность продукта на профилактику заболеваний опорно-двигательной системы[67], была разработана рецептура комплексной белково-минеральной добавки в составе мясных продуктов. Кроме гидролизата коллагена, принимая во внимание его невысокий выход из мякотной части ножек (6–7 %), в состав комплексной добавки включили изолированный животный белок, который на 90–95 % представлен коллагеном, являющимся строительным материалом для регенерации хрящевой и костной системы. В состав одной из рецептур включены хондропротекторы – хондроитина сульфат и глюкозамин, относящиеся к классу сложных углеводов. Важными нутриентами в профилактике и лечении остеопороза являются глюкозамины и хондроитина сульфат, способствующие поддержанию упругости и эластичности хряща. Последний обладает противовоспалительной активностью, стимулирует синтез гиалуроновой кислоты и протеогликанов, ингибирует действие протеолитических ферментов. Для усвоения кальция в состав добавки введены витамины D, а также Е и С как антиоксиданты; в качестве носителей использованы инулин и пищевая клетчатка, которые обеспечат организм пищевыми волокнами, необходимыми для его нормального функционирования, и которые предотвращают выведение из организма кальция и железа.

В работе [80] описана разработка функционального мясного продукта (паштета) для детей младшего школьного возраста, обогащенного витаминами и минеральными элементами, дефицит которых особо ощущается у детей младшей возрастной группы: железом, медью, цинком, витаминами группы В и аскорбиновой кислотой, а также пищевыми волокнами. Рецептура обеспечивает заданный химический состав по белку, жиру и соответствие аминокислотного состава физиологической потребности детей. Добавление витаминно-минерального комплекса в количестве 30–40 % от суточной нормы способствует профилактике дефицита витаминов (В₁, В₂, В₁₂, С) и минеральных веществ (железо, цинк, медь) в организ-

ме детей младшего школьного возраста, а введение пищевого волокна (соевой клетчатки) позволит улучшить перистальтику кишечника.

В последние годы определенные успехи достигнуты в разработке и использовании в животноводстве различных биологически активных веществ (БАВ), которые позволяют регулировать обмен веществ в организме животных, улучшать использование питательных компонентов корма и при тех же кормовых ресурсах получать дополнительную продукцию [112].

В животноводстве внедрение средств биологического происхождения, балансирующих рацион, является одним из направлений повышения эффективности и рентабельности производства, роста конкурентоспособности производителей. Во всем мире активно ведутся научные исследования, направленные на повышение эффективности кормления и решение частных проблем, характерных для высокопродуктивных животных [131].

Еще один путь использования активаторов – на стадии производства пищевых продуктов, прежде всего в мясных системах.

Готовые мясные продукты, в том числе колбасы, редко рассматриваются в качестве базового источника витаминов, так как в процессе технологической обработки большая часть витаминов разрушается, а оставшиеся количества не удовлетворяют физиологические потребности организма человека [133].

Полученная в исследовании [135] продукция птицеводства, предполагающая включение в технологию выращивания разработанного агрегативно устойчивого комплекса, может быть классифицирована как функциональная и в соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 может иметь дополнительную маркировку «с высоким содержанием селена». Полученные данные позволяют сделать вывод, что применение разработанного агрегативно устойчивого витаминно-минерального комплекса на основе селена с размером частиц 20–60 нм не оказывает негативного воздействия на качество мяса, а получаемая продукция соответствует ветеринарно-санитарным требованиям.

По результатам исследований [84] установлено, что минеральная добавка на основе L-аспарагиновой кислоты, включающая в первом варианте (7,5 %): Zn –

7,5; Fe – 7,5; Cu – 1,5; Mn – 3,0; Co – 0,07 мг/кг СВ корма; во втором варианте (10 %): Zn – 10,02; Fe – 10,02; Cu – 2,0; Mn – 4,01; Co – 0,1 мг/кг СВ корма, способствует увеличению убойного выхода мяса, при этом отмечается положительное влияние на вкусовые качества получаемой продукции, что крайне важно на современном этапе развития мясной индустрии.

В аналогичном исследовании [185] установлено, что благодаря содержанию в оптимальных соотношениях P, S, Mg, Na, Cl, Zn, J, Mn, Se и витаминов D, C премикс повышает питательную ценность корма, позволяет включать в состав рационов недорогие сырьевые компоненты, что расширяет возможности составления рационов и снижает себестоимость животноводческой продукции.

Среди антиоксидантов искусственного происхождения есть соединения, традиционно используемые в мясной промышленности в качестве фиксаторов окраски (нитрит калия, нитрит натрия) и влагоудерживающих агентов (фосфаты).

Широкое применение нитрита в технологии производства всех видов колбасных изделий обусловлено способностью стабилизировать естественную окраску мяса, ингибирующим действием на микроорганизмы, влиянием на физико-химические превращения вкусовых и ароматических веществ мяса в сторону образования соединений, обеспечивающих специфические ветчинные аромат и вкус мяса.

Смесь специй вареной колбасы «Докторская» содержит такие соединения, как стабилизаторы (пирофосфаты E450, трифосфаты E451), усилитель вкуса (глутамат натрия E621), антиоксиданты (E300, E316), соль и специи. Пирофосфаты применяются для увеличения объема мышечной ткани (что повышает выход готовой продукции), улучшения органолептических показателей (цвета, консистенции), замедления течения окислительных процессов. Триполифосфат лучше всего способствует эмульгированию жира, а также используется в качестве стабилизатора, регулятора кислотности, фиксатора окраски, антиоксиданта. Однако чрезмерное поступление фосфатов в организм человека может вызвать нарушения, связанные с дисбалансом фосфора и кальция в организме человека. Глутамат натрия – усилитель вкуса (соленого и острого), который не обладает

вкусом, но воздействует на чувствительность рецепторов языка, создавая ощущение вкуса мясного продукта. Антиоксиданты (аскорбиновая кислота E300, эриторбат ((изоаскорбат) натрия E316) защищают продукты от окисления, прогоркания и изменения цвета, что обуславливает сокращение дозировки применяемых нитритов на треть. Изоаскорбат натрия дополнительно используется в качестве подкислителя, регулятора кислотности, позволяет увеличить срок годности продуктов в несколько раз, предотвращает образование в них канцерогенных нитрозаминов [109].

1.4 Научно-практическое обоснование использования коллагеновых продуктов, пищевых добавок и ингредиентов в пищевых системах

Основные отрасли применения коллагеновых продуктов – мясная, птицеперерабатывающая и рыбная; отдельный интерес представляет использование добавок в технологии приготовления различных продуктов и блюд на предприятиях общественного питания.

Мясная индустрия. Предприятия мясной промышленности проявляют активный интерес к коллагеновым добавкам. Среди причин, обуславливающих этот интерес, можно выделить снижение потерь, улучшение структурно-механических свойств продукции, повышение пищевой ценности изготавливаемых продуктов и др. В последнее время остро обозначилась проблема нерационального использования сырья при производстве мяса и мясных продуктов, выражающаяся в образовании отходов, составляющих от 30 % до 70 % от массы исходного сырья [22] и отличающихся высоким содержанием соединительной ткани, которой накапливается около 16 % [4; 39]. В состав белков соединительной ткани входит коллаген, на долю которого приходится треть всей массы белков животного организма [70]. Многочисленными исследованиями доказано, что коллаген представляет собой

один из ключевых нутриентов, выполняющих жизненно важные функции в организме [40], поэтому в условиях дефицита белков животного происхождения попадание столь значительного количества коллагена в отходы недопустимо.

Вовлечение соединительной ткани в производство мясных фаршей позволит решить три важных задачи: рациональное использование сырья, снижение нагрузки на окружающую среду и производство продукции, соответствующей современным представлениям о питании [126]. Обозначенные вопросы активно осуждаются научным сообществом, исследователями предлагаются различные технические решения. При этом можно выделить следующие принципиальные моменты: при использовании соединительной ткани для производства мясных продуктов важная роль отводится биотехнологическим приемам, на что еще в 2000 г. указывали Л. В. Антипова и И. А. Глотова [17] и что подтверждено исследованиями последних лет [54]; использование коллагенсодержащего сырья основано на предварительной технологической подготовке или модификации [25; 48; 58; 68]; поиск и выбор ферментных препаратов или стартовых культур как по отдельности, так и в виде их композиций [61], наиболее эффективно воздействующих на коллагенсодержащее сырье. Анализ показывает, что потенциал для дальнейших разработок в данной области полностью не исчерпан.

Использование белковых гидролизатов животного происхождения в технологии мясных систем рассматривается как один из универсальных способов получения высококачественных мясных продуктов с регулируемыми свойствами.

На практике в основном применяют высокофункциональные концентрированные и изолированные соевые белки, белки на основе плазмы крови убойных животных, молочной сыворотки, коллагенсодержащего сырья. Относительно высокие функционально-технологические свойства этих белковых гидролизатов в сочетании с повышенной биологической ценностью, многовариантностью технологического применения, высокой экономичностью и простотой использования позволяют считать их наиболее перспективными для производства фаршевых мясных продуктов [30].

Применение белковых гидролизатов в мясной промышленности обусловлено следующими основными факторами:

- компенсирование недостатка мышечного белка в фарше с целью сохранения или увеличения водосвязывающей, влаго- и жирудерживающей и структурообразующей способностей фарша и его устойчивости;
- увеличение объема выработки продукции при одновременном снижении расхода мясного сырья на 1 т продукта;
- увеличение использования сырья с повышенным содержанием соединительной и жировой тканей, субпродуктов, мясной обрезки и т. д.;
- стабилизация качества продукта;
- повышение пищевой и биологической ценности продукта;
- снижение себестоимости продукта.

Начиная с 1960-х годов в США и Японии начали создавать способы гидролиза коллагенсодержащего сырья в водной среде при высоких значениях температуры и давления с последующей сушкой распылением. В результате получали белковый компонент, используемый в технологии пищевых продуктов, в том числе при производстве мясной продукции. Обзор пищевых добавок и ингредиентов с использованием коллагенсодержащего сырья приведен в работе А. Ю. Соколова и др. [173]. В монографии Л. В. Антиповой обобщены и систематизированы современные знания о структуре, физико-химических, биохимических свойствах и особенностях коллагена в составе основного и вторичного сырья перерабатывающих отраслей АПК. Приведены новые сведения о свойствах коллагеновых субстанций применительно к производству пищевых и кормовых продуктов, косметологии, медицине [15].

Представленный в публикации Ч. О. Райимкуловой и А. Д. Джамакеевой [153] анализ органолептических и физико-химических показателей образцов мясных продуктов «Колбаски-гриль в оболочке» свидетельствует, что введение модифицированного белка из свиной шкурки не ухудшает качество готовых изделий и подтверждает перспективность применения коллагенсодержащего сырья, обработанного методом микробной модификации, в технологии мясных продуктов.

В. А. Богомья и Т. Ю. Шишкина описывают представленные коллагеновые животные говяжьи белки «Новапро» производства Бразилии, которые рекомендованы для производства всех фаршевых мясных продуктов в качестве структурообразующего стабилизирующего белкового ингредиента [35].

Актуальность обогащения мясных продуктов белком животного происхождения обоснована в статье Д. В. Фоменко и А. А. Рогожина [188].

Таким образом, использование гидролизата коллагена в качестве натуральной добавки, обладающей функционально-технологическими свойствами, а также отличной биоразлагаемостью, низкой иммуногенностью и возможностью крупномасштабного производства, делает их интересными соединениями для широкого промышленного применения в мясной промышленности.

Птицеперерабатывающая промышленность. По данным Д. Ю. Исмаиловой и др. [88], в настоящее время в птицеводстве России функционирует 641 птицеводческое предприятие, из них 425 яичных, 137 бройлерных, 50 племенных, 9 утиных, 12 гусиных, 5 индюшинных, 3 перепелиных хозяйства. В результате глубокой переработки птицы в год образуется около 650 тыс. т вторичных продуктов, которые представляют собой безопасные и доступные источники коллагена и белковых продуктов для пищевой индустрии, фармакологии и кормопроизводства, как подчеркивается в публикации В. И. Фисинина [187]. Для извлечения коллагена из малоценного сырья используют гидротермический, кислотный, щелочной, ферментативный гидролиз. Поиску возможностей использования в пищевых целях вторичных коллагенсодержащих ресурсов мясной промышленности за счет конверсии содержащихся в них трудноусвояемых белковых компонентов посвящен обзор литературных источников Д. Ю. Исмаиловой и В. Г. Волик [87].

В исследовании В. Г. Волик и соавторов [58] представлены экспериментальные данные по получению экстракта белка из вторичного мясокостного сырья птицеперерабатывающей отрасли с использованием высокотемпературной кратковременной обработки, авторами также разработана технология производства пищевого белка из малоценных продуктов переработки птицы с использованием биотехнологических подходов.

Результаты исследований О. Н. Красули и др. [104] подтверждают целесообразность ферментативной модификации коллагенсодержащего сырья мяса птицы при адекватном выборе ферментов.

Рыбная промышленность. Переработка продукции рыболовства и аквакультуры используется в разных целях: от получения пищевой продукции до удобрений и промышленного использования. Вторичная переработка играет важную роль в утилизации отходов и создании дополнительных ресурсов, так как открывает новые перспективы для развития медицины и фармацевтики, способствует улучшению качества и разнообразия пищевых продуктов, обеспечивая устойчивое использование природных ресурсов [172]. Значительная часть рыбных отходов (для гидробионтов – рыб, в частности, это кожа, головы, кости, хребты, ЖКТ; структура показана на рисунке 2) выбрасывается, часть направляется на производство кормовой муки, удобрений или рыбного жира. Производство такой продукции малорентабельно, следовательно, рыбная промышленность существенно недополучает прибыль, а организм – ценные нутриенты [101].

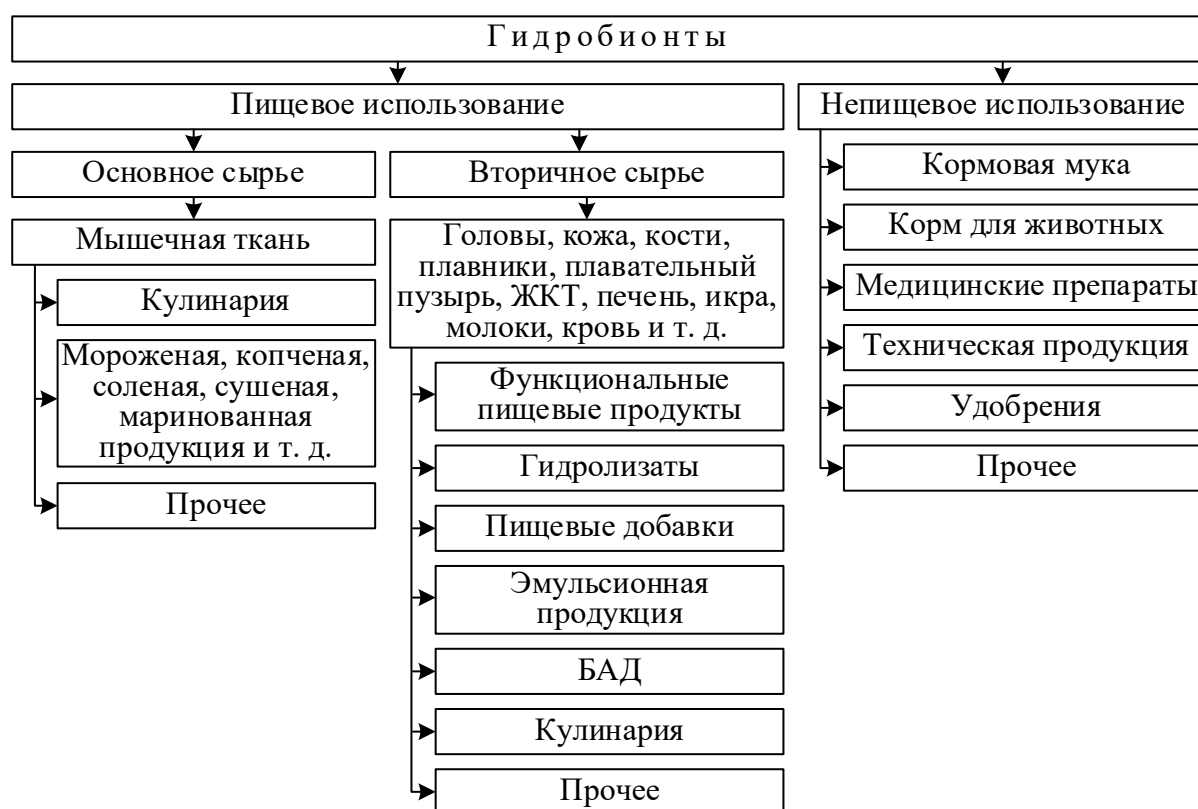


Рисунок 2 – Комплексное использование гидробионтов

Вместе с тем, как отмечается в работе А. Н. Ковалева и др. [99], вторичное сырье является источником коллагена, и его выделение и использование может решить задачу снижения белоксодержащих отходов (30–70 % от исходного сырья), образующихся при производстве рыбной продукции. Активизация исследований в данном направлении [55; 60; 61] свидетельствует о научно-практическом интересе к использованию коллагенсодержащего сырья, в основном кожи рыб, в технологии пищевых систем.

Был проведен патентный поиск, связанный с получением и использованием гидролизатов коллагена в рыбной отрасли. Перечень данных документов представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень патентной документации, отобранной для анализа

Номер патентного документа	Название документа
Получение гидролизатов коллагена	
2490927 (опубл. 27.08.2013)	Способ получения гидролизата типа бульона из гидробионтов
2665589 (опубл. 31.08.2018)	Способ получения гидролизата рыбного коллагена
2766694 (опубл. 03.15.2022)	Способ получения коллагена из плавательных пузырей пресноводных рыб
Применение гидролизатов коллагена	
2594533 (опубл. 20.08.2016)	Способ получения функционального рыборастворимого продукта

В исследовании Д. В. Зенковой и А. В. Борисовой [83] описан способ получения гидролизатов рыбного белка из толстолобика (*Hypophthalmichthys nobilis*) с использованием фермента фицина при оптимальных условиях: соотношении фермент/субстрат 3 %, температуре 40 °С и рН 6. Авторы исследовали три различных времени гидролиза – 1; 3 и 6 ч, и их влияние на степень гидролиза, которая составила 13,36 %; 17,09 % и 20,15 % соответственно.

Для полноценного использования мышц испанской скумбрии (*Scomberomorus niphonius*) и получения антиоксидантных пептидов в исследовании [198] белки мышц данной рыбы были гидролизованы под действием пяти видов ферментов при помощи метода ультрафильтрации и множественной хроматографии.

Описан метод применения смешанного химического гидролиза (с кислотами и щелочами), что позволило получить гидролизат в виде крупнодисперсного порошка белого цвета, который при восстановлении водой превращался в стойкую полупрозрачную дисперсию, степень гидратации составила 1:5. После ферментного гидролиза полученный гидролизат (размер частиц 1–2 мм) имел волокнистую структуру, светло-кремовый цвет, слабо выраженный рыбный запах. При восстановлении водой степень гидратации составляла 1:4 [28].

В работе Н. Ю. Романенко и др. [162] изучены химический состав чешуи двух видов рыб, продуктов ее гидролиза и аминокислотный состав белков. Исследовано количество низкомолекулярных пептидов в гидролизатах чешуи сардины при различных способах гидролиза. Обоснованы рациональные способы гидролиза чешуи – ферментативный и ферментативно-термический, позволяющие получать протеиновые добавки с содержанием белка 83,9–85,2 % при доле активных пептидов с молекулярной массой менее 10 кДа – 91,7–98,1 %. Разработана технология получения протеиновых биодобавок из чешуи рыб, изучен их аминокислотный состав [180].

Исследования показали, что использование рыбных гидролизатов из голов лососевых в качестве добавки к пище способствует уменьшению уровня стресса. Установлено, что гидролизаты проявляют анксиолитическую активность, т. е. снижают тревожное состояние старых мышей и восстанавливают уровень кортикостерона в плазме [138; 141].

Рыбные гидролизаты могут быть использованы в качестве пищевой добавки к продуктам питания в виде порошка. Для этого гидролизаты пастеризуют, концентрируют и высушивают [129]. Порошки, полученные после ферментного гидролиза, растворяются в воде лучше, чем после кислотного или щелочного, что упрощает их применение [101].

В работе В. И. Воробьева и др. коллагенсодержащие добавки из покровных тканей рыб, полученных различными способами, включали в состав рецептур хлеба и оценивали их влияние на качественные характеристики продукта [60].

Общественное питание. Имеющиеся немногочисленные данные свидетельствуют об использовании коллагенсодержащего сырья в производстве продукции предприятий общественного питания и его возможных перспективах. Использование такого сырья позволяет решить несколько задач: компенсировать недостаток мышечных белков, увеличить выход готового продукта, снизить себестоимость продукции и стабилизировать ее качество. В качестве примеров можно привести изготовление мясных полуфабрикатов из фарша, производство колбасных изделий, паштетной массы и др. В ранних исследованиях Н. Л. Султаевой [176] получены положительные результаты изучения коллагенсодержащего сырья – субпродуктов II категории (рубец, свиная шкурка, мясная обрезь); соединительнотканых образований, полученных при жиловке мяса в процессе кулинарного производства – и его использования в производстве мясных рубленых полуфабрикатов. Предложенные технологии и рецептуры прошли производственную апробацию на предприятиях общественного питания и получили положительную оценку потребителей.

В статье С. В. Долгополовой [70] рассмотрены возможные направления использования белка коллагена при производстве кулинарной продукции как на заготовочных предприятиях, так и на предприятиях общественного питания с полным циклом производства, в том числе в диетическом, специальном питании, в сфере ресторанного бизнеса. Для этого автором обобщены данные о функциональных свойствах коллагена, а также проведен анализ научных разработок в области использования коллагена в пищевой промышленности. Благодаря своим уникальным технологическим свойствам коллаген широко применяется в разных отраслях промышленности, в том числе пищевой, но ограниченно используется в общественном питании, констатирует автор.

В исследовании В. И. Воробьева и др. [61] обоснована возможность и целесообразность применения коллагенсодержащего рыбного сырья в составе рецептур панировочных смесей, используемых в производстве полуфабрикатов из сырья растительного, молочного, животного и рыбного происхождения.

Заключение по главе 1

Анализ научных публикаций позволяет сделать следующие выводы.

Разработка рациональной и ресурсосберегающей технологии использования вторичных ресурсов таких отраслей, как мясная, птицеперерабатывающая и рыбная, относится к одной из актуальных проблем, стоящих перед пищевой и перерабатывающей промышленностью. При этом одним из перспективных видов животного сырья, которое целесообразно использовать в пищевых целях, является коллагенсодержащее, получаемое в результате переработки убойных животных. Создание коллагеновых продуктов, в том числе белковых препаратов, пищевых добавок и др., на основе малоценного в пищевом и технологическом отношении сырья является одним из активно развивающихся направлений в научно-практической деятельности организаций пищевой отрасли.

Традиционные технологии использования соединительнотканых белков в рецептурах мясных продуктов не дали желаемых результатов, так как нативные компоненты соединительных тканей имеют низкую органолептическую оценку и функционально неполноценны. Поэтому поиск возможных направлений вовлечения низкосортного и малоиспользуемого сырья является актуальным и достаточно широко обсуждаемым в научном сообществе.

Коллаген и его характеристики хорошо изучены и представлены в литературе. Структурно-механические и физико-химические свойства коллагена открывают широкие перспективы для получения продуктов различного назначения. Среди них можно выделить получение белково-жировых добавок, эмульсий; многофункциональных препаратов; структурированных продуктов (типа чипсов, экстрактов); желатина; выработку препаратов для парфюмерно-косметической промышленности, ветеринарии, зоотехнии, медицины.

Проанализирован рынок гидролизатов белков и методы их получения из сырья растительного и животного происхождения.

Проведена оценка эффективности и биодоступности сырьевой базы для получения гидролизатов белка.

Большинство описанных в главе 1 исследований сосредоточены на способах получения биоактивных белковых гидролизатов из сырья как растительного, так и животного происхождения с целью разработки натуральных альтернатив синтетическим вариантам.

Установлено, что перспективным направлением использования коллагенового сырья в производстве продуктов является его модификация, наиболее приемлемым методом – ферментативная обработка, что явилось выводом из рассмотренных преимуществ и недостатков различных методов модификации.

Важным параметром при производстве белковых гидролизатов являются оптимальные условия, такие как температура, время гидролиза, соотношение фермента к субстрату, pH, используемый субстрат и степень гидролиза. Совокупность этих факторов влияет на процесс гидролиза, а также на биологически активные свойства производимых белковых гидролизатов.

В производстве мясных продуктов коллагенсодержащее сырье используют для получения белковых стабилизаторов применительно к технологии вареных, ливерных колбас и мясных хлебов, бульонов для заливки консервов, субпродуктовых фаршей, наборов для домашнего студня. Другой аспект его применения связан с получением пленочных съедобных и формовочных материалов.

На основе изучения литературных данных установлено, что решение проблемы рационального использования сырья при производстве мясных продуктов (например, обработка низкосортного мясного сырья с повышенным содержанием соединительной ткани для его использования в качестве основного сырья при производстве мясной продукции) возможно при использовании промежуточного продукта в виде коллагенсодержащей пищевой добавки, имеющей ограничение при введении в рецептуры.

Поскольку наиболее перспективным и эффективным для воздействия на мясное сырье является ферментный гидролиз, что определяет перспективы использования ферментных препаратов, был проведен анализ рынка биотехнологи-

ческой продукции, который показал, что ферментные препараты пользуются коммерческим успехом. Получили распространение следующие ферментные препараты для гидролиза пищевых белков: папаин, Алкалаза®, Протамекс®, Flavourzyme®, Нейтраза®, Протозим С. При этом объем производства отечественных ферментных препаратов составляет порядка 1 тыс. т в год при ежегодной потребности 18 тыс. т, что свидетельствует о потенциале отечественных предприятий в этом направлении. Аналитический обзор литературных данных свидетельствует об активном научном поиске источников получения ферментных препаратов, способов их внедрения в промышленное производство. Нередко для биоконверсии предлагается использование водных ресурсов: рыбы и нерыбных объектов водного промысла. Однако по причине недостаточной изученности полученных ферментов и технологии их применения темпы внедрения таких препаратов в производство пока незначительны.

Практически отсутствуют исследования о возможности комбинирования коллагеновых продуктов с другими пищевыми источниками животного происхождения.

Анализ научной и технической литературы показал, что при переработке рыбы образуются большие объемы отходов, которые могут быть использованы для получения полезного гидролизата рыбного белка. Изучение данных о химическом составе вторичных ресурсов рыбного производства, возможности их использования для производства ферментных препаратов обусловило выбор рыбного сырья в качестве ингредиента пищевой добавки.

Таким образом, полученные в результате аналитического обзора данные позволили сформировать гипотезу о возможности гидролиза соединительнотканного белка коллагенсодержащего сырья, его использования в качестве биомодификатора ферментного препарата из вторичных продуктов рыбного сырья и коллагенсодержащего сырья цыплят-бройлеров, а также использования в виде разработанной коллагенсодержащей пищевой добавки в технологии мясных систем. На основании этого были сформулированы цель и задачи исследований, решение которых представлено в настоящей диссертационной работе.

2 Организация эксперимента, объекты и методы исследования

2.1 Основные этапы исследований и их характеристика

Экспериментальные исследования проводились в период с 2019 по 2024 г. на базе кафедры биотехнологии и инжиниринга и Единого лабораторного комплекса ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

Теоретические и экспериментальные исследования выполнены в соответствии с поставленными задачами. Общая схема представлена на рисунке 3.

На первом этапе в рамках аналитического исследования проведены анализ и систематизация данных научно-технической литературы и патентной информации, посвященной изучению роли коллагеновых продуктов в пищевой промышленности; рассмотрены значение, строение и свойства коллагена, виды, характеристика и способы получения коллагеновых препаратов; дано научно-практическое обоснование использования коллагеновых препаратов в пищевых системах. На основании этого сформулирована цель диссертационного исследования и определены задачи для ее реализации.

На втором этапе определены объекты и методы исследования, обоснован их выбор.

На третьем этапе разработана технология получения коллагенсодержащей пищевой добавки, описаны этапы получения протеазы, использования ее в приготовлении ферментолизата; дана оценка свойств полученного ферментолизата и проведены исследования по определению и повышению его активности; проведено сравнение с коммерческими аналогами; описаны технологические этапы получения и проведена оценка качества коллагенсодержащей пищевой добавки, охарактеризованы ее функционально-технологические свойства, биологическая ценность, безопасность и рекомендуемые сроки хранения.



Рисунок 3 – Схема проведения экспериментальных исследований

Четвертый этап исследования посвящен практическим аспектам применения коллагенсодержащей пищевой добавки в мясных системах. Проведено исследование функционально-технологических свойств мясных систем с использованием коллагенсодержащей пищевой добавки; предложена технология фарша с коллагенсодержащей пищевой добавкой; проведена оценка его качества и безопасности; разработаны рецептура, технология и дана товароведная оценка паштета с коллагенсодержащей добавкой; обоснованы сроки годности и режимы хра-

нения полученной продукции. Проведено обоснование и реализация разработанных технических решений.

На завершающем этапе исследований сформулированы выводы и приведены доказательства обоснованного применения коллагенсодержащей пищевой добавки в технологии мясной продукции.

Все этапы исследования проводились с использованием обоснованных теоретических и экспериментальных методов, с применением лабораторного оборудования кафедры биотехнологии и инжиниринга ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», лабораторий Единого лабораторного комплекса УрГЭУ, лабораторий Управления федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору по Свердловской области.

2.2 Объекты и методы исследования

Для каждого этапа работ согласно схеме и в соответствии с поставленными целью и задачами были определены сырьевые ресурсы, объекты исследования, коммерческие препараты ферментов для сравнения, которые оценивались по комплексу показателей.

Для производства коллагенсодержащей пищевой добавки использовали вторичные ресурсы переработки рыбы – чешую, плавники и кожу горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) семейства лососевых (*Salmonidae*), относящейся к роду тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus*), а также вторичные ресурсы птицеперерабатывающей промышленности – кожу цыплят-бройлеров, полученную при первичной обработке тушек в условиях ОАО «Птицефабрика «Рефтинская» (Свердловская область, городской округ Рефтинский), кросс птицы «РОСС-308».

Выбор сырьевых ресурсов обусловлен целью и задачами исследований, а также тем, что процесс производства ферментных препаратов должен предпола-

гать максимальное вовлечение вторичных ресурсов, получаемых при обработке рыбной продукции и цыплят-бройлеров, и их приближенность к производству, включая готовую продукцию. В связи с этим в качестве источника сырьевых ресурсов рассматривались предприятия по переработке рыбы и цыплят-бройлеров, расположенные в Свердловской области.

Объектами исследований являлись:

- протеаза и ферментолитат на основе вторичных ресурсов рыбной отрасли;
- разработанная коллагенсодержащая пищевая добавка. Коллагенсодержащим сырьем (КСС) выступала кожа цыплят-бройлеров. Обработку подготовленного КСС проводили полученным ферментолитатом;

- модельные образцы фарша. Фарш из мяса птицы механической обвалки, полученный в условиях ООО «ППР «Свердловский» – селекционно-генетического центра по разведению кросса «Хайсекс Браун» и репродуктора I и II порядка по разведению кросса «Декалб Уайт», специализирующегося также на производстве мясной продукции, в том числе мяса механической обвалки, без пищевых добавок. Мясной фарш из котлетного мяса на основе говядины, полученной из животных, разводимых на Урале, преимущественно комбинированного направления, и отличающейся высоким содержанием соединительной ткани. В соответствии с ГОСТ Р 55365-2012 «Фарш мясной. Технические условия» котлетное мясо должно содержать не менее 80 % мышечной ткани и 20 % соединительной. В каждой группе были изготовлены две группы образцов – контрольная группа и опытные образцы с содержанием коллагенсодержащей пищевой добавки;

- мясной рубленый полуфабрикат – «Фарш говяжий с коллагенсодержащей пищевой добавкой», изготовленный из котлетного мяса на основе говядины жилованной II сорта с содержанием мышечной ткани 81,6 %, которое получили путем разделки, обвалки и жиловки говяжьих отрубов, с добавлением в количестве 4,0 % соединительной ткани, оставшейся после жиловки отрубов, затем вносили коллагенсодержащую добавку в количестве 0,5 кг из расчета на 100 кг и подвергали куттерованию в течение 5 мин, дополнительно вносили лед в количестве 5 кг

для стабилизации функционально-технологических свойств фаршевой системы и достижения температуры готового фарша 12–15 °С;

– мясной паштет, который готовили по рецептуре и технологии приготовления паштетов из мяса птицы с внесением коллагенсодержащей пищевой добавки. Рецептура включала говяжий фарш и фарш мяса птицы механической обвалки в соотношении 75:15, поваренную соль, бульон и коллагенсодержащую добавку.

Для сравнения полученного ферментолизата использовали коммерческие образцы ферментных препаратов коллагеназы и протепсина, характеристика которых представлена в таблице 5.

В качестве вспомогательных материалов использовали пиридоксаль-5-фосфат, который представляет собой активную форму витамина В₆, обладает высокой биодоступностью. Пиридоксаль-5-фосфат использовали в технологии мясных паштетов как кофермент ферментативных реакций.

Предметом исследования явились: химический состав, функционально-технологические, органолептические свойства, микроструктура, качество и безопасность полученной продукции: ферментолизата, коллагенсодержащей пищевой добавки, мясных систем, мясных полуфабрикатов и паштетов, условия и сроки хранения, информация о продукции, а также корреляционные взаимосвязи потребительских характеристик и качественных показателей мясных фаршей и паштетов в зависимости от состава исходного сырья и наличия коллагенсодержащей пищевой добавки.

Материалами исследований явились: первичная информация (результаты исследования рынка с ежегодным проведением мониторинга товарного предложения ферментных препаратов); вторичная информация (прайс-листы, интернет-ресурсы предприятий-производителей, предприятий общественного питания и розничной торговли); статистические данные, характеризующие конъюнктуру рынка ферментных препаратов; установочные данные нормативных документов (технических регламентов, межгосударственных и национальных стандартов); экспериментальные данные в области качества, безопасности, условий и сроков хранения.

Таблица 5 – Характеристика ферментных препаратов

Ферментный препарат	Коммерческие характеристики	Функциональные характеристики
Коллагеназа I типа 	Коллагеназа I типа лиофилизированная из культуры <i>Clostridium histolyticum</i> производства Servicebio	Фермент, расщепляющий связи между нейтральными аминокислотами (X) и глицином в аминокислотной последовательности Про-Х-Гли-Про (часто встречается в коллагене). Коллагеназа уникальна среди протеаз благодаря своей способности расщеплять коллагеновые фибриллы, встречающиеся во всех типах соединительной ткани, таких как кожа, кости, сухожилия, кровеносные сосуды. Представляет собой нестерильный порошок для применения в исследовательских целях для расщепления тканей на отдельные клетки. Специфична для выделения и изоляции клеток кожи, легких, жировой ткани и надпочечников. Протеолитическая активность 125 CDU/мг
Протепсин 	Торговая марка «ЭНЗИ-МИКС У». Производитель ООО «Завод эндокринных ферментов». Юридический адрес: 124575, г. Москва, г. Зеленоград, корп. 1015, кв. 58. Цена 300 р/шт. (банка 10 г). Порошок светло-серого цвета, выпускается трех модификаций, отличительным признаком которых выбрана протеолитическая активность 50; 100 и 150 ед/г. Оптимальная температура работы фермента в мясных системах – 40 °С. Рекомендуемая норма внесения препарата рассчитана на состояние системы с рН 4,5–6,0	Энзимный препарат животной природы, содержащий комплекс кислых протеиназ, предназначен для применения в мясной промышленности для обработки мясного сырья. Введение препарата в мясную систему повышает водосвязывающую способность и гидратацию белков за счет их взаимодействия с активными центрами энзимов. Это приводит к разрыхлению структуры белков, увеличению иммобилизованной влаги в мясе и степени пénéтрации. При использовании препарата потери веса мясной системы при тепловой обработке уменьшаются. При производстве мясопродуктов препарат применяют в количестве 0,01–0,005 % к массе продукта

В ходе выполнения диссертационных исследований использовались общепринятые стандартные, частные и модифицированные методы. При анализе теоретических положений и собственных результатов применялись аналитические методы: тематический поиск, анализ и систематизации литературных данных, экспертных оценок. При выполнении экспериментальной части работы использовались органолептические, физико-химические, биохимические, микробиологические и гистологические методы.

Для установления природы протеазы исследован фракционный состав раствора протеазы масс-спектрометрическим методом с использованием спектрофотометра Leki SS2109UV [26; 56; 122]. Для выделения белков использованы методы высаливания, основанные на применении сульфата аммония. Выделение фермента проводили путем экстракции в присутствии 3 % раствора хлорида натрия. После этого растворы белков обрабатывали ультразвуковым диспергатором и растворяли в дистиллированной воде. Далее к раствору добавляли сульфат аммония до достижения насыщения раствора на 80 %, образцы выдерживали при комнатной температуре в течение 24 ч. Собранные белки отделяли центрифугированием со скоростью ротора 8000 об/мин в течение 15 мин. После этого проводили ресуспендирование белков в фосфатном буфере с pH 6,8. Для дополнительной очистки от солей использовали метод диализа с отсечкой по массе 10 кДа. Для выделенных фракций определяли молекулярную массу на масс-спектрометре AmaZon SL-Bruker (Bruker, Германия), а аминокислотную последовательность изучали с помощью программы Bruker Wiever и базы данных Mascot.

Для определения количественного содержания аминокислот в растворе с протеазой использовали газожидкостную хроматографию, затем аминокислоты детектировали и количественно определяли масс-спектрометрическим методом.

Примеси из раствора (соли, липиды) удаляли с помощью твердофазной экстракции или ультрафильтрации. Хроматографическое разделение проходило при температуре 40 °C на колонках C18 (2,1 × 150 мм, 3,5 мкм). Исследование проводили на высокоэффективном жидкостном хроматографе Agilent 1260 Infinity II, обработку данных выполняли при помощи программного обеспечения MassHunter.

Определение ферментативной активности протеазы осуществляли по методу Ансона в соответствии с ГОСТ 34430-2018 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения протеолитической активности» и методическими указаниями по [146].

Для этого готовили контрольный образец (буферный раствор и казеин) и опытный образец (буферный раствор и раствор протеазы). В пробирке соединяли 1 мл 1 % казеина, предварительно нагретого до 37 °C, и 1 мл раствора с казеина

для контрольного образца и 1 мл раствора с протеазой для опытного образца, инкубировали в течение 10 мин при температуре 37 °С. Добавляли 2 мл 5 % ледяной ТХУ в пробирку, перемешивали. Негидролизированный казеин осаждали в течение 30 мин при 20 °С. Центрифугировали в течение 10 мин при 4000 об/мин, после чего отделяли надосадочную жидкость. К 1 мл надосадочной жидкости добавляли 5 мл реактива Фолина – Чокальтеу с последующим инкубированием в течение 20 мин при 37 °С. Измеряли оптическую плотность на спектрофотометре при длине волны $\lambda = 660$ нм. Строили график калибровочной кривой на основе концентрации тирозина (рисунок 4).

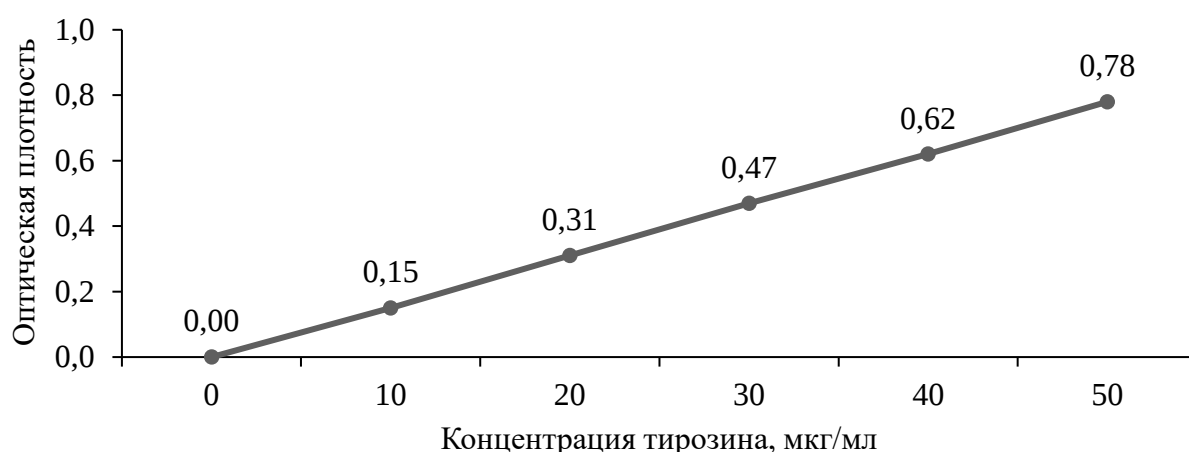


Рисунок 4 – График калибровочной кривой на основе концентрации тирозина

В таблице 6 представлена номенклатура показателей при исследовании ферментолизата на основе вторичных ресурсов предприятий рыбоперерабатывающей отрасли.

Таблица 6 – Перечень показателей ферментолизата и методы их определения

Показатель	Метод определения
Фракционный состав ферментолизата	Масс-спектрометрический с использованием спектрофотометра Leki SS2109UV [26; 56; 122]
Молекулярная масса белков	ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.9)
Протеолитическая активность	ГОСТ 34430-2018 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения протеолитической активности»

Продолжение таблицы 6

Показатель	Метод определения
Органолептические (цвет, запах, консистенция)	ГОСТ 20264.1-89 «Препараты ферментные. Методы определения органолептических, физико-химических и микробиологических показателей». ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.4)
Физико-химические показатели	
Массовая доля белка	ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.6)
Массовая доля жира	ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.8)
Массовая доля влаги	ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.5)
Массовая доля сухих веществ	ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (путем вычитания из массы пробы количества влаги, определенной по п. 7.5)
pH	По методу потенциометрии по ГОСТ Р 51478-99 (ИСО 2917-74) «Мясо и мясные продукты. Контрольный метод определения концентрации водородных ионов (pH)» в водной вытяжке, с помощью pH-метра Testo-205, с диапазоном измерений pH -0,5–14 (Testo, Германия)
Микроскопический анализ	Гистологический по ГОСТ 31479-2012 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологической идентификации состава» с использованием поляризационного микроскопа ПОЛАМ Л-213М ЛОМО с окуляром КК10х/18 и объектива ЛОМО ПЛАН 2,5х0,005 с выводом изображений на экран компьютера

На этапе получения ферментативного гидролизата коллагенсодержащего сырья использовали универсальную установку, позволяющую автоматизировать технологию переработки кожи цыплят-бройлеров (рисунок 5).



Рисунок 5 – Универсальная установка для гидролиза коллагенсодержащего сырья

Технологический процесс состоит из следующих этапов: сырье заливают холодной проточной водой температурой от 3 °С до 5 °С и моют, затем измельчают с использованием волчка сырья с оборотом вращения от 70 до 100 об/мин; мясной субпродукт (кожу цыплят-бройлеров) замачивают в растворе ферментолизата в емкости установки на 2–3 ч при поддерживаемой температуре от 2 °С до 4 °С, измельчают продукт куттером в течение 3–5 мин до получения однородной массы при скорости вращения лопастей 1000 об/мин, после чего гомогенизируют при скорости вращения венчика 9000 об/мин, затем высушивают при температуре 80 °С. Автоматизация процесса достигается за счет использования программного обеспечения MeasLAB, которое позволяет управлять работой системы удаленно, внося необходимые значения параметров через компьютер.

Рабочий режим программного обеспечения MeasLAB позволяет передавать данные с датчиков от установки на компьютер для мониторинга состояния системы. Также выводятся данные о температуре теплоносителя, температуре смеси, текущей мощности нагревателя.

В зависимости от стадии технологического процесса на панели управления рабочий режим можно сменить на служебный режим редактирования настроек.

Кнопка «Нагрев» останавливает работу компрессора при температуре выше 90 °С. Кнопка «Охлаждение» отвечает за контроль температуры теплоносителя и отключает компрессор при температуре выше 45 °С. Кнопка «Заморозка» контролирует температуру теплоносителя и используется для его замены. Кнопка «ТЭН» запускает работу трубчатого нагревателя и позволяет регулировать его мощность с компьютера. Кнопки «Компрессор», «Эмульгатор» и «Насос» включают соответствующие устройства, если это предполагается.

Универсальная установка для получения ферментативного гидролизата коллагенсодержащего сырья запускается по следующему алгоритму: подключение к сети 220 В, соединение ПК и установки при помощи USB-кабеля, запуск программы MeasLAB, с помощью компьютерной программы включение необходимых температурных и временных режимов производства коллагенсодержащего продукта, регулирование скорости вращения волчка, с помощью которого происходит измельчение кожи цыплят-бройлеров, автоматизация процесса куттерова-

ния (установка времени, оборотов и скорости вращения ножей куттера), а также включение режима гомогенизации.

В таблице 7 представлена номенклатура показателей и методы их определения при исследовании коллагенсодержащей пищевой добавки.

Таблица 7 – Номенклатура показателей и методов исследования коллагенсодержащей пищевой добавки

Показатель	Метод исследования
Органолептические показатели	ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия»
Физико-химические показатели	
Массовая доля белка, в том числе массовая доля белка в сухом веществе	ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.6)
Массовая доля жира	С использованием экстракционного аппарата Сокслета по ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.8)
Массовая доля влаги	Высушиванием навески пробы до постоянной массы при температуре $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ по ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.5)
Массовая доля коллагена к массе общего белка	ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.7)
Массовая доля золы	ГОСТ 31727-2012 (ISO 936:1998) «Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы»
Влагоудерживающая гелеобразующая жиромульгирующая способность	ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.11, 7.12 и 7.13)
Степень набухания	Путем взвешивания и расчета отношения массы емкости с порошком после и до замачивания [3]
Степень гидратации, г компонента/г воды	Путем добавления определенного количества воды к образцу (по 0,1 мл) до получения однородной, мягкой и мажущей консистенции без отделения жидкости при размещении его на решетке [19]
Содержание тяжелых металлов	Руководствуясь ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ГОСТ 30538 «Продукты пищевые. Методика определения токсичных элементов атомно-эмиссионным методом»; ГОСТ 30178 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов», определяли содержание мышьяка, кадмия, свинца и ртути по стандартным методикам: – ртути – по ГОСТ 26927 «Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути»; – мышьяка – по ГОСТ 26930 «Сырье и продукты пищевые. Методы определения мышьяка»; ГОСТ 31628 «Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения массовой концентрации мышьяка»;

Продолжение таблицы 7

Показатель	Метод исследования
	– свинца – по ГОСТ 26932 «Сырье и продукты пищевые. Методы определения свинца»; – кадмия – по ГОСТ 26933 «Сырье и продукты пищевые. Методы определения кадмия»
Определение микробиологических показателей	Руководствуясь ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия» (п. 7.15), определяли: – количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) – по ГОСТ 10444.15 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов»; – количество бактерий группы кишечных палочек (колиформ) – по ГОСТ 31747 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)»; – содержание патогенных микроорганизмов, в том числе <i>Salmonella</i>, – по ГОСТ 31659 «Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода <i>Salmonella</i>»
Определение перекисного числа	ГОСТ Р 51487-99 «Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа»

В таблице 8 представлена номенклатура показателей и методы их определения при исследовании модельных фаршей, мясных полуфабрикатов и паштета.

Таблица 8 – Перечень показателей и методов исследований для готовой продукции

Показатель	Метод исследования
Отбор образцов и определение свежести мяса	ГОСТ 7269-2015 «Мясо. Методы отбора образцов и органолептические методы определения свежести»
Органолептические и физико-химические показатели	ГОСТ 31490-2012 «Мясо птицы механической обвалки. Технические условия. Фарш из мяса птицы механической обвалки»
	ГОСТ Р 55365-2012 «Фарш мясной. Технические условия»
	ГОСТ Р 55334-2012 «Паштеты мясные и мясосодержащие. Технические условия»
	ГОСТ 9959-2015. «Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки»
Массовая доля влаги	Высушиванием до постоянной массы при 105 °С по ГОСТ 33319-2015 «Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги»
Массовая доля белка	ГОСТ 25011-2017 «Мясо и мясные продукты. Методы определения белка»

Продолжение таблицы 8

Показатель	Метод исследования
Содержание связанного оксипролина	Колориметрическим методом Ньюмана и Логана, основанным на выделении оксипролина при кислотном гидролизе пробы продукта, проведении цветной реакции с продуктами ее окисления и измерении интенсивности развивающейся окраски [16]
Содержание аминного азота в мясном фильтрате	ГОСТР 55479-2013 «Мясо и мясные продукты. Метод определения amino-аммиачного азота»
Массовая доля жира	Методом Сокслета по ГОСТ 23042-2015 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира»
Массовая доля золы	Озолением высушенной обезжиренной навески в муфельной печи при $t = 500-700\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы по ГОСТ 31727-2012 (ISO 936:1998) «Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы»
Влагосвязывающая способность	Методом прессования по П. Грау и Р. Хамму в модификации В. П. Воловинской [16; 158]. Содержание связанной влаги вычисляли по формуле $X = (A - 8,4B)100 / A,$ где X – содержание связанной влаги, % к общей влаге; A – общее содержание влаги в навеске, мг; B – площадь влажного пятна, cm^2
Водоудерживающая способность	По методике Н. Н. Липатова-мл. [113; 114]
Жирудерживающая способность	По методике Н. Н. Липатова-мл.
Гистологические исследования микроструктуры образцов фарша	ГОСТ 31479-2012 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологической идентификации состава»
Аминокислотный профиль	СОП «Определение аминокислотного состава методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с предколоночной дериватизацией агентами ОРА и ФМОС в пищевых продуктах» ИЦ ФГБНУ «ВНИИМП им В. М. Горбатова»
Массовая доля хлористого натрия	ГОСТ 9957-2015 «Мясо и мясные продукты. Методы определения содержания хлористого натрия»
Микробиологические показатели	Руководствуясь ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции», МУК 4.2.2747-10 «Методы санитарно-паразитологической экспертизы мяса и мясной продукции» и ГОСТ Р 54354-2011 «Мясо и мясные продукты. Общие требования и методы микробиологического анализа», определяли: – КМАФАнМ – по ГОСТ 10444.15 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов»; – количество бактерий группы кишечных палочек (колиформ) – по ГОСТ Р 52816-2007 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)»; – содержание патогенных микроорганизмов, в том числе <i>Salmonella</i> , – по ГОСТ Р 52814-2007 «Продукты пищевые. Методы выявления бактерий рода <i>Salmonella</i> »; ГОСТ 30425 «Консервы. Метод определения промышленной стерильности»

Расчеты показателей биологической ценности проведены согласно исследованиям И. А. Рогова и др. [158] по аминокислотному скору относительно идеального белка по шкале ФАО/ВОЗ, коэффициенту различия аминокислотного состава (КРАС) и другим показателям. Для оценки качественной стороны белкового компонента на основе имеющихся литературных данных был разработан алгоритм оценки, представленный в таблице 9.

Таблица 9 – Алгоритм оценки качества белкового компонента и его показатели [62; 71; 72; 158]

Показатель	Характеристика и методика оценки
Сбалансированность аминокислотного состава	Показатель аминокислотного скору устанавливает предельно возможный уровень использования азота данного белка для пластических целей. Избыток других имеющихся в составе белка аминокислот будет использоваться как источник неспецифического азота либо для энергетических потребностей организма. Методика включает определение лимитирующих аминокислот и расчет аминокислотного скору A_c по формуле $A_c = \frac{A_j}{A_{yj}},$ где A_j – массовая доля j-й незаменимой аминокислоты в продукте, г/100 г белка; A_{yj} – массовая доля j-й незаменимой аминокислоты, соответствующая физиологически необходимой норме (эталону), г/100 г белка
Коэффициент утилитарности аминокислотного состава (КУАС)	Имеет практическое значение, так как возможность утилизации аминокислот организмом предопределена минимальным скором одной из них. Рассчитывается по формуле $K_{yac} = \frac{A_{min}}{A_j},$ где A_{min} – минимальный скор незаменимых аминокислот оцениваемого белка по отношению к физиологически необходимой норме (эталону), % или доли ед.
Коэффициент различия аминокислотного скору (КРАС)	Показывает среднюю величину избытка аминокислотного скору незаменимых аминокислот по сравнению с наименьшим уровнем скору какой-либо незаменимой аминокислоты (избыточное количество незаменимых аминокислот, которое не используется на пластические нужды). Рассчитывается по формуле $KРАС = \frac{\sum_{j=1}^N \Delta PАС}{n},$ где $\Delta PАС$ – различие аминокислотного скору аминокислоты, которое определяется по формуле $\Delta PАС = C_i - C_{min},$ где C_i – избыток скору i-й незаменимой аминокислоты, %

Продолжение таблицы 9

Показатель	Характеристика и методика оценки
Биологическая ценность белка (БЦ)	Рассчитывается по формуле $\text{БЦ} = 100 - \text{КРАС}$
Коэффициент сопоставимой избыточности (G)	Характеризует суммарную массу незаменимых аминокислот, не используемых (из-за несбалансированности аминокислотного состава) на анаболические цели, в таком количестве белка оцениваемого продукта, которое по содержанию потенциально утилизируемых незаменимых аминокислот эквивалентно их количеству в 100 г эталонного белка. Рассчитывается по формуле $G = \frac{\sum_{j=1}^k A_j - C_{\min} \times A_{yj}}{C_{\min}}$

Степень достоверности подтверждена результатами экспериментальных исследований, обработанных методами расчета статистической достоверности измерений с использованием серии компьютерных программ Microsoft Office Word и Excel для Windows 11, Statistica 13.

Для обеспечения достоверности количественных показателей, полученных в процессе эксперимента, была выбрана трехкратная повторность проведения опыта. Уровень доверительной вероятности 0,95. Обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием методов математической статистики с применением компьютера.

3 Технология получения коллагенсодержащей пищевой добавки и оценка ее эффективности

3.1 Получение ферментолизата – основы коллагенсодержащей пищевой добавки, оценка его свойств и сравнение с коммерческими аналогами

Для получения коллагенсодержащей пищевой добавки был выполнен ряд технологических операций, направленных на выделение протеазы и получение ферментолизата как основы разрабатываемой добавки.

Определен алгоритм и проведен ряд технологических операций для выделения протеазы из горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) семейства лососевых (*Salmonidae*), относящейся к роду тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus*), в целях модификации соединительной ткани как в ферментолизате, так и в пищевой системе. Лабораторный эксперимент заключался в выделении и частичной очистке протеазы из вторичных отходов переработки горбуши.

Технология выделения протеазы представлена на рисунке 6.

На подготовительном этапе осуществляли сбор плавников и кожи с чешуей горбуши как вторичных рыбных отходов, оставшихся от разделки рыбы с других производственных линий.

Подготовленное рыбное сырье помещали в барабан вакуумного массажера при соотношении с водой 1:1 и поддерживаемой температуре внутри барабана $(8 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Осуществляли массирование сырья при 16 об/мин в течение 10 мин для стимулирования выделения слизи и активации протеазы, без денатурации белка.

Отделяемую жидкую фазу затем охлаждали до $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Далее центрифугировали отделенную ранее эмульсию при 4500 об/мин в течение 15 мин для отделения крупных частиц с последующим отделением надосадочной жидкости от осадка.



Рисунок 6 – Технология выделения протеазы

Проводили фильтрацию в два этапа: первичную – с пропускной способностью фильтра 50 кДа, а затем вторичную – с пропускной способностью фильтра 23 кДа, сконцентрировав целевой фермент в растворе.

В результате применения данной технологии из низкокалорийных остатков был получен ценный биотехнологический продукт – водный раствор с содержанием протеазы.

Описанный выше технологический процесс позволяет провести экстракцию и очистку слизи, сохранив ее активный компонент – протеазу, используемую в ферментативном гидролизе соединительных тканей вторичного рыбного сырья.

Для установления природы протеазы исследовали фракционный состав ее раствора методом масс-спектрометрии. Результаты фракционирования представлены на рисунке 7.

В результате фракционирования из раствора с протеазой собраны два пика, которым присвоены обозначения F1 и F2. При фракционировании с помощью флеш-хроматографии собрано три фракции, обозначенных N1–N3.

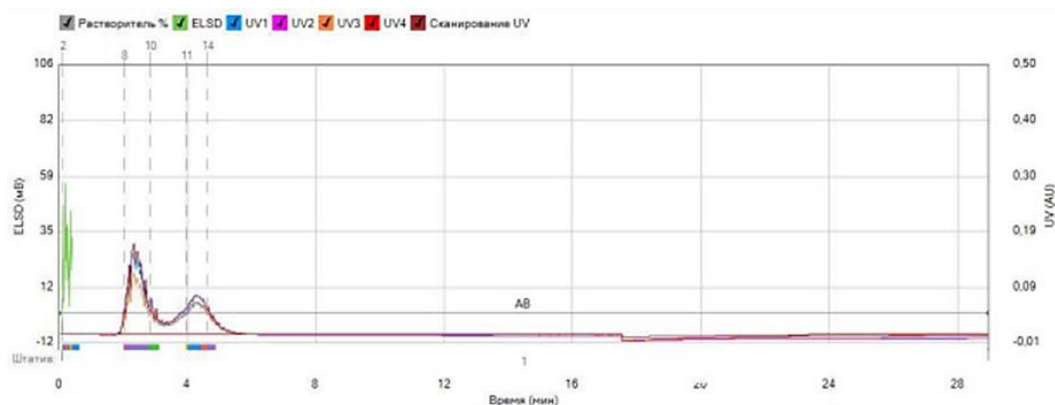


Рисунок 7 – Фракционный состав белков рыбы

Для выделенных фракций определяли молекулярную массу на масс-спектрометре AmaZon SL-Bruker (Bruker, Германия), аминокислотную последовательность изучали с помощью программы Bruker Wiewer и базы данных Mascot. Результаты представлены на рисунке 8.

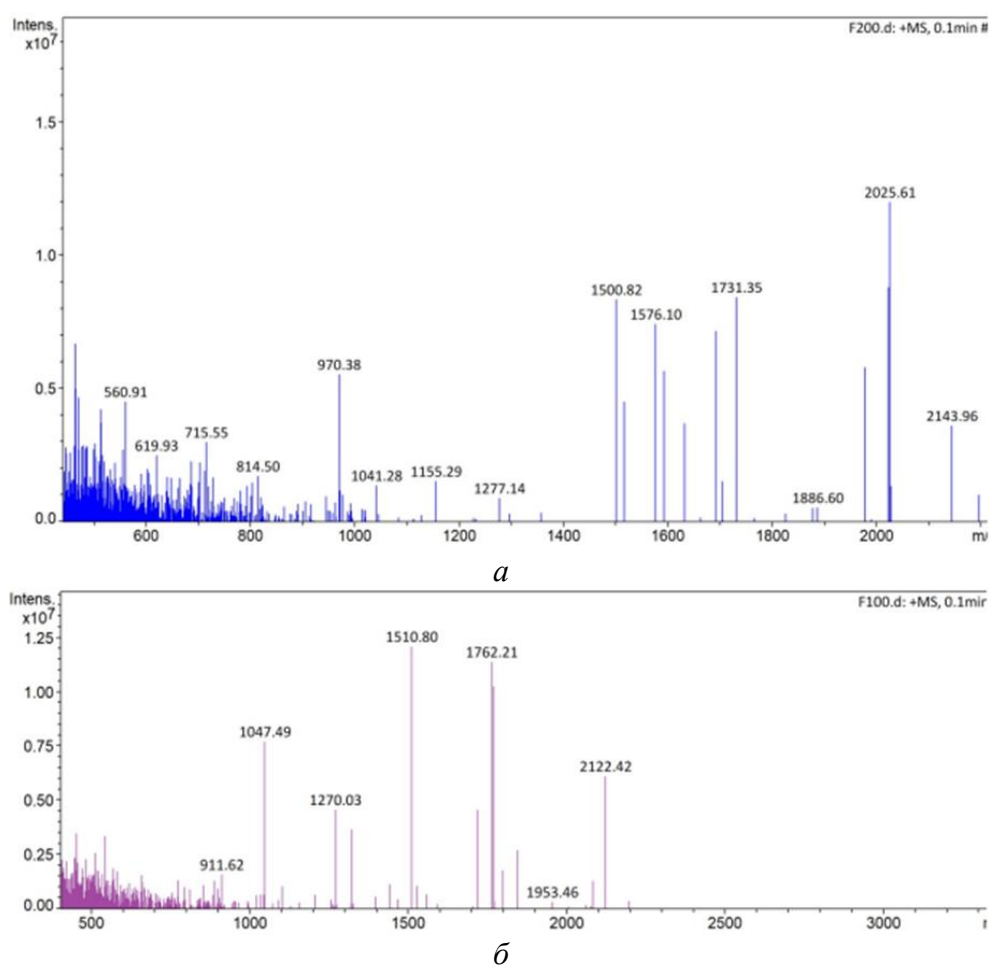


Рисунок 8 – Масс-спектры образцов раствора с протеазой:
а – фракция F1; б – фракция F2

Рисунки 7 и 8 иллюстрируют ключевые этапы работы – от хроматографического разделения до идентификации белков с помощью масс-спектрометрии. Данные подтверждают успешное выделение фракций F1, F2, N1–N3 и их характеристику по массе и аминокислотному составу. Характеристика фракций представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристика фракций

Образец	Аминокислотная последовательность	Масса, кДа
F1	TCCEEQEKANCFQTKAEPFIYYLKYDGCCEGDVVQCIRGECIIYSNKDL LKECCNMENPPECYRECCNMENPPECYRHAENRSLKIVQRLAAKSQAA	2,12
F2	HFSKAKTLDANQEITDLESKTEDLDLPEENQASEDYRTAKRPLEREGM VSIMSFRENSDYQPVKLQGTLPVEARGNPPIYRGNPPIYRFWKGDLYHY KMSDKISTSEEVCSFHLKIETRAGEAAAERDAEITFIK	2,20

Аминокислотная последовательность F1 содержит 85 аминокислотных остатков, F2 – 138 аминокислотных остатков.

Фракция F1 имеет высокое содержание цистеина – 6 остатков. Это указывает на возможное формирование дисульфидных связей, стабилизирующих третичную структуру белка. Последовательность содержит участки, гомологичные тиоредоксинам (белкам, участвующим в редокс-реакциях), что согласуется с высоким содержанием цистеина.

Присутствуют повторяющиеся мотивы ECCNMENPPECYR, что связано с доменной организацией или функциональными участками.

Преобладание гидрофобных аминокислот (лейцин, фенилаланин, изолейцин) характерно для структурных и мембранных белков.

Фракция F2 имеет высокое содержание пролина (P) и глицина (G): 8 и 7 остатков соответственно. Эти аминокислоты часто встречаются в гибких участках белков. Наличие лизина (K) и аргинина (R) в N-концевой области – 12 остатков, что указывает на положительно заряженные участки, участвующие во взаимодействиях с ДНК/РНК или другими макромолекулами.

Аминокислотные последовательности F1 и F2 содержат разнообразные аминокислоты и повторяющиеся мотивы GNPPIYR, что может указывать на наличие

структурных или функциональных областей с другими свойствами. Важно отметить, что гидролизаты F1 и F2, вероятно, имеют разные специфичности и механизмы действия по сравнению с ферментными препаратами, и дополнительные биохимические и структурные исследования позволят более точно определить их функциональные особенности.

Далее определяли процентное содержание аминокислот в растворе. Для этого аминокислоты разделяли с помощью жидкостной хроматографии, а затем детектировали и количественно определяли масс-спектрометром.

Примеси из раствора (соли, липиды) удаляли с помощью твердофазной экстракции или ультрафильтрации. Хроматографическое разделение проходило при температуре 40 °C на колонках C18 (2,1 × 150 мм, 3,5 мкм). Исследование проводили на высокоэффективном жидкостном хроматографе Agilent 1260 Infinity II, обработку данных выполняли при помощи программного обеспечения MassHunter. Результаты представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Содержание аминокислот в растворе с протеазой

Аминокислота	Содержание, %
Незаменимые аминокислоты	
Валин	2,49 ± 0,31
Изолейцин	5,12 ± 0,26
Лейцин	7,24 ± 1,35
Лизин	7,88 ± 0,57
Метионин	1,54 ± 0,11
Фенилаланин	6,06 ± 0,51
Треонин	3,58 ± 0,17
Триптофан	2,85 ± 0,56
Гистидин	2,63 ± 0,12
<i>Всего незаменимых аминокислот</i>	39,39
Заменимые аминокислоты	
Аланин	5,26 ± 0,73
Аргинин	7,38 ± 1,89
Аспарагиновая кислота	4,08 ± 0,65

Продолжение таблицы 11

Аминокислота	Содержание, %
Аспарагин	$4,26 \pm 0,23$
Глицин	$10,10 \pm 1,55$
Глутаминовая кислота	$5,48 \pm 0,88$
Глутамин	$4,17 \pm 0,12$
Пролин	$5,84 \pm 0,77$
Серин	$4,17 \pm 0,25$
Тирозин	$4,75 \pm 0,44$
Цистеин	$5,12 \pm 0,19$
<i>Всего заменимых аминокислот</i>	60,61
Итого	100,00

В соответствии с полученными данными раствор обладает сбалансированным аминокислотным профилем с потенциалом применения в пищевой и биотехнологической отраслях. Результаты соответствуют данным для гидролизатов рыбных отходов, что подтверждает эффективность использованной технологии и целесообразность переработки вторичного сырья.

Данные таблицы 11 показывают, что незаменимые аминокислоты составляют 39,39 %, заменимые – 60,61 %. Иными словами, раствор содержит значительное количество аминокислот, которые организм не может синтезировать самостоятельно, но при этом раствор богат и заменимыми аминокислотами, играющими важную роль в метаболизме и синтезе белков. Профиль аминокислот характерен для гидролизатов рыбного сырья, где преобладают глицин, пролин и аргинин. Соотношение незаменимых и заменимых аминокислот близко к эталонным значениям для белков животного происхождения.

Раствор протеазы, полученный из 10 кг сырья (вторичных рыбных отходов) и 10 л подготовленной воды, представляет собой 1000 г эмульсии, которая содержит 70 % воды и 30 % сухих веществ. Химический состав ферментолизата на 100 г продукта включает 20 г белков, 6 г жира, 4 г минеральных веществ.

Следующим этапом исследования является доказательство наличия протеазы в эмульсии. Косвенным доказательством служит тот факт, что в исходных вторичных ресурсах (коже с чешуей и плавниках) белки присутствуют в виде крупных молекул, а в растворе после обработки они превращены в свободные аминокислоты. Это подтверждает, что гидролиз произошёл. Этот факт также подтверждает высокое содержание заменимых аминокислот (60,61 %), таких как глицин (10,10 %), пролин (5,84 %) и глутаминовая кислота (5,48 %). Эти аминокислоты характерны для коллагена, основного белка кожи и соединительных тканей рыб. Их присутствие в растворе выступает признаком гидролиза коллагена под действием протеазы. Лейцин, изолейцин и валин также высвобождаются только при их расщеплении.

Ферментативную активность протеазы определяли по методике Ансона. Для этого готовили контрольный образец (буферный раствор и казеин) и опытный образец (буферный раствор и раствор протеазы).

Для начала строили график калибровочной кривой на основе концентрации тирозина (рисунок 9).

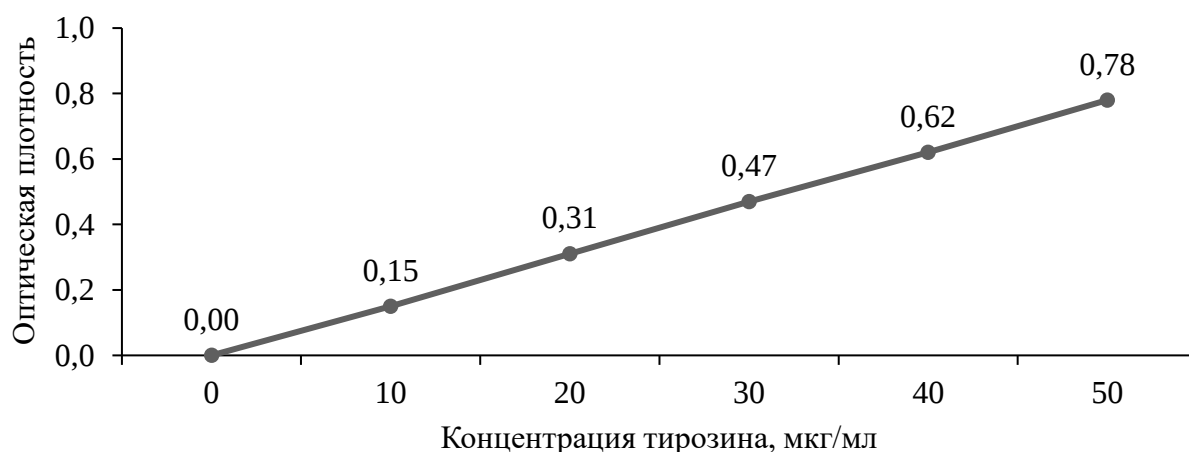


Рисунок 9 – График калибровочной кривой

Далее строили график зависимости удельной активности от концентрации протеазы (рисунок 10).

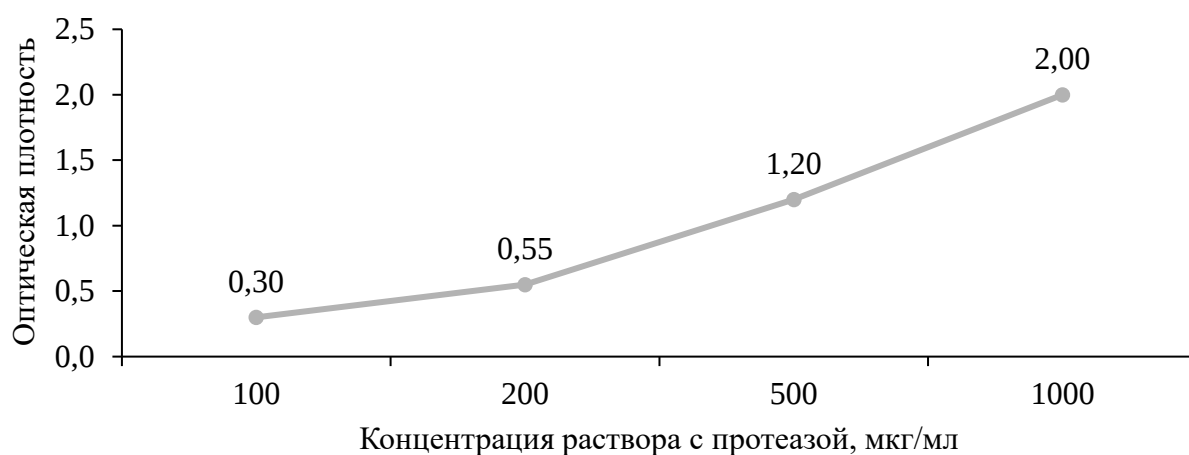


Рисунок 10 – Зависимость удельной активности от концентрации протеазы

Провели расчет активности и удельной активности раствора протеазы (таблица 12).

Таблица 12 – Расчет активности и удельной активности раствора протеазы

Концентрация раствора протеазы, мкг/мл	Оптическая плотность	Активность, мкмоль/мл	Удельная активность, мкмоль/мкг
100	0,30	4,8	0,048
200	0,55	8,8	0,044
500	1,20	19,2	0,038
1000	2,00	32,0	0,032

Данные, представленные в таблице 12, указывают на то, что при увеличении концентрации протеазы с 100 до 1000 мкг/мл общая активность возрастает в 6,7 раза. Это связано с увеличением количества фермента, способного катализировать реакцию гидролиза казеина. Удельная активность уменьшается с 0,048 до 0,032 мкмоль/мкг при повышении концентрации протеазы. Это означает, что эффективность фермента на единицу массы снижается при избытке фермента в системе. Наибольшая удельная активность 0,048 мкмоль/мкг наблюдается при концентрации протеазы 100 мкг/мл. Это указывает на эффективность фермента при низких концентрациях.

В дальнейшем раствор протеазы использовали для получения ферментолита, а оставшиеся от выделения протеазы вторичные ресурсы в количестве 9 кг

направляли для получения ферментолизата. Технология получения ферментолизата заключается в ряде выполнения последовательных операций, представленных на рисунке 11.

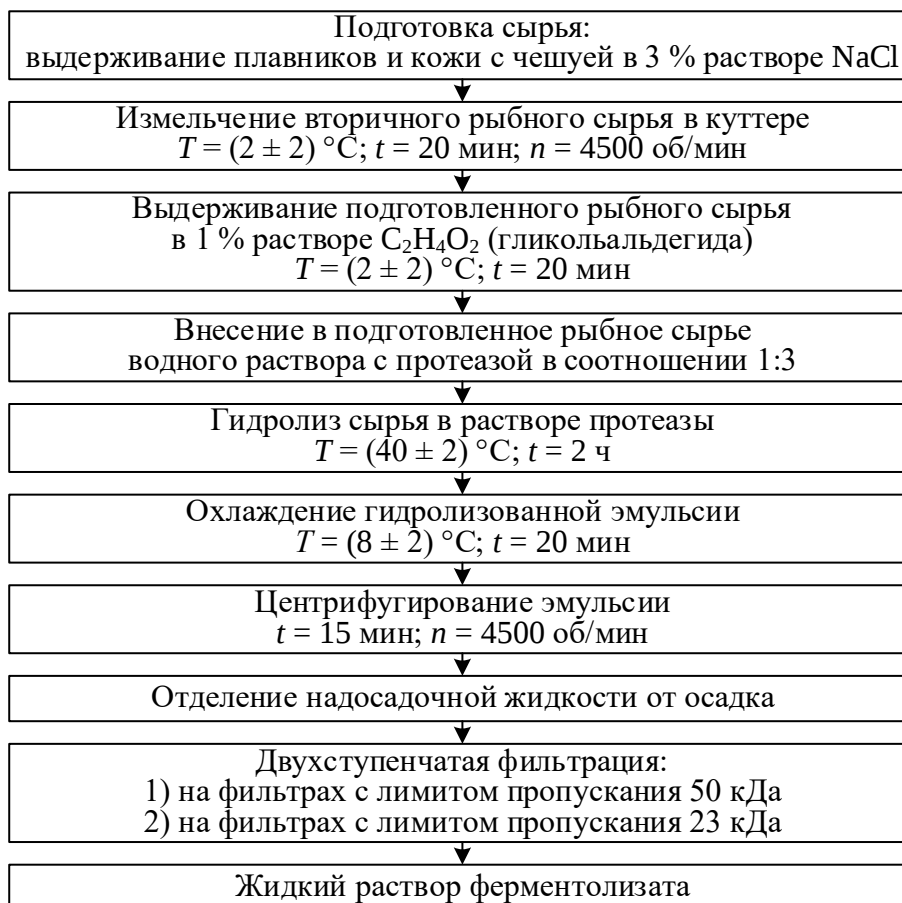


Рисунок 11 – Технология получения ферментолизата

Технология получения ферментолизата из вторичного рыбного сырья начинается с подготовки сырья. Плавники, кожу с чешуей выдерживали в 3 % растворе NaCl для очистки и стабилизации, после чего сырье измельчали в куттере при температуре $(2 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в течение 20 мин и скорости вращения режущего инструмента 4500 об/мин для достижения однородной консистенции. Далее измельченную массу обрабатывали 1 % раствором гликольальдегида ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) при $(2 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в течение 20 мин для подготовки к последующему гидролизу, затем в нее вносили водный раствор протеазы в соотношении 1:3. Гидролиз проводили при температуре $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в течение 90 мин, что обеспечило расщепление белков протеазой, после чего эмульсию охлаждали до $(8 \pm 2) ^\circ\text{C}$ за 20 мин для остановки реакции.

На следующем этапе смесь центрифугировали при 4500 об/мин в течение 15 мин, разделяя на осадок и надосадочную жидкость, которую затем подвергали двухступенчатой фильтрации: сначала через мембраны с пределом пропускания 50 кДа для удаления крупных частиц, а затем через фильтры 23 кДа для окончательной очистки. В результате получили жидкий ферментоллизат, обогащенный низкомолекулярными белковыми фракциями, что достигается за счет сочетания ферментативного гидролиза и многоступенчатой обработки сырья.

Инактивация фермента при необходимости проводится повышением температуры до 80–90 °С в течение 15 мин. После чего раствор охлаждается до $(7 \pm 3)^\circ\text{C}$ – это необходимо для сохранения структуры и свойств коллагена.

В соответствии с классификацией, предложенной Комитетом по номенклатуре Международного союза биохимиков и молекулярных биологов ферментов, включающей шесть основных классов и базирующейся на видах катализируемых реакций [163], полученный фермент отнесен к классу протеаз (подкласс 3.4). Его отличительной чертой является групповая специфичность по отношению к белкам и пептидам [34], основная катализируемая реакция – гидролиз пептидной связи в молекуле белков и пептидов.

Полученный фермент относится к ферментам животного происхождения, из рыбного сырья. Основное назначение – обработка низкосортного мясного сырья с высоким содержанием соединительной ткани и, как следствие, соединительнотканых белков.

Сырье выдерживается в 3 % растворе NaCl для подавления активности эндогенных ферментов, которые могут разрушать белки сырья до начала контролируемого гидролиза и стабилизации тройной спирали коллагена, предотвращая его денатурацию. Помимо этого, обработка коллагенсодержащего сырья раствором NaCl разрыхляет соединительную ткань, делая белки более доступными для действия протеазы. 3 % концентрация NaCl не нарушает структуру целевых белков, но подавляет неспецифические взаимодействия, которые могут мешать гидролизу.

Выбор 3 % раствора NaCl обуславливается тем, что меньшей концентрации недостаточно для подавления микробной активности и коагуляции примесей,

а бо́льшая приводит к денатурации коллагена и других ценных белков, а также снижает активность протеазы на последующих технологических этапах [240].

Был определен гидромодуль для определения соотношения протеазы к воде в технологии получения ферментолизата.

В таблице 13 представлено молекулярное распределение фракций из рыбного сырья.

Таблица 13 – Молекулярное распределение фракций рыбного сырья в зависимости от гидромодуля

Молекулярная масса, кДа	Доля фракции, %, при гидромодуле				
	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
36–23	22	35	11	34	31
22–18	52	41	68	46	42
Менее 18	26	24	21	20	27

Изменение гидромодуля при экстрагировании из рыбного сырья оказало влияние на распределение молекулярной массы. Фракция 22–18 кДа достигает максимума 68 % при гидромодуле 1:3, что подтверждает эффективность данного соотношения для выделения белков средней молекулярной массы. Фракция 36–23 кДа наиболее представлена при гидромодуле 1:2 – 35 %, что делает его оптимальным для работы с этой группой соединений. Низкомолекулярные фракции (менее 18 кДа) демонстрируют стабильное содержание 20–27 % во всех вариантах, с небольшим преобладанием при гидромодуле 1:5 – 27 %.

Для дальнейших исследований был выбран гидромодуль 1:3, поскольку при нем достигается наибольшее содержание фракции 22–18 кДа (68 %), что указывает на интенсивное расщепление высокомолекулярных белков протеазой. Это согласуется с данными о высокой удельной активности фермента при умеренных концентрациях, где отсутствует ингибирование избытком субстрата или денатурация. Данное соотношение воды с протеазой предотвращает чрезмерное разведение реакционной смеси, сохраняя эффективный контакт протеазы с субстратом.

Фракция 22–18 кДа включает биоактивные пептиды и белки, востребованные в пищевой промышленности как структуратор продуктов, а также как активные компоненты для создания иммуномодуляторов и антиоксидантов.

Была определена оптимальная температура для проведения гидролиза рыбного сырья. В таблице 14 представлено молекулярное распределение фракций рыбного сырья в зависимости от температуры экстрагирования.

Таблица 14 – Молекулярное распределение фракций из рыбного сырья в зависимости от температуры экстрагирования

Молекулярная масса, кДа	Доля фракции, %, при температуре экстрагирования, °С										
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
36–23	70	69	63	38	27	16	5	30	22	27	38
22–18	15	22	31	45	59	63	85	47	52	49	44
Менее 18	15	9	6	17	14	21	10	23	26	24	18

Из таблицы следует, что температура экстрагирования оказывает влияние на распределение молекулярной массы фракций вторичного рыбного сырья. При температуре 36 °С количество в процентном отношении фракций с молекулярной массой от 22 до 18 кДа было максимальным и составило 85 %, что свидетельствует о высокой эффективности гидролиза в этих условиях. Это связано с оптимальной активностью протеазы, обеспечивающей интенсивное расщепление высокомолекулярных белков до целевых фракций.

Исходя из полученных данных, целесообразно проводить экстракцию рыбного сырья с целью выделения фермента при температуре 36 °С, поскольку минимизируется содержание низкомолекулярных фракций, а следовательно, и риск появления горького вкуса, характерного для перегидролизированных пептидов.

В таблице 15 представлено молекулярное распределение фракций из вторичного рыбного сырья в зависимости от времени его экстрагирования. Максимальное процентное содержание фракции с молекулярной массой 22–18 кДа отмечается при времени экстрагирования 90 мин – 82 %. Таким образом, именно 90-минутная обработка оптимальна для селективного выделения данной фракции.

Таблица 15 – Молекулярное распределение фракций вторичного рыбного сырья в зависимости от времени экстрагирования рыбного сырья

Молекулярная масса, кДа	Доля фракции, %, при времени экстрагирования, мин		
	60	90	120
36–23	22	7	37
22–18	55	82	46
Менее 18	23	11	17

На основе полученных данных были составлены исследуемые образцы. Для выбора оптимальных технологических параметров экстрагирования рыбного сырья проведено сравнение, результаты которого представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Сравнение технологических параметров для получения ферментолизата

Номер образца	Гидромодуль	Температура, °С	Время, мин	Доля фракции 22–18 кДа, %
1	1:3	36	90	85
2	1:3	36	60	68
3	1:2	35	90	63
4	1:4	36	120	46
5	1:5	37	90	44

Результаты, описанные в таблице 16, говорят о том, что параметры образца 1 для экстрагирования рыбного сырья при соблюдении технологических параметров (выдержка в 3 % растворе NaCl, гидромодуль 1:3, проведение процесса при температуре 36 °С в течение 90 мин) обеспечивают максимальное содержание целевой фракции 22–18 кДа на уровне 85 %. Данное сочетание демонстрирует наивысшую эффективность гидролиза, минимальное содержание побочных продуктов и отсутствие признаков перегидролиза или денатурации фермента.

У образца 2 уменьшение времени до 60 мин снижает выход фракции на 17 %, что указывает на незавершенность процесса. Использование гидромодуля 1:2 (образец 2) приводит к потере эффективности извлечения полезных компонентов из-за недостатка воды для равномерного распределения фермента. Увеличение вре-

мени до 120 мин (образец 4) вызывает перегидролиз, что снижает долю целевой фракции. Повышение температуры приводит к денатурации фермента (образец 5).

Выбранные параметры (гидро модуль 1:3, температура 36 °С, длительность процесса 90 мин) подтверждены экспериментально. Они обеспечивают максимальный выход целевых фракций при минимальных затратах, что делает их оптимальными для технологии переработки вторичного рыбного сырья.

Данные о выходе ферментоллизата представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Выход ферментоллизата согласно технологии

Показатель	Технология ферментоллизата, разработанная автором
Выход ферментоллизата, %	$10 \pm 1,4$
Время производства	2 ч 45 мин

В полученном ферментоллизате были определены органолептические, физико-химические показатели. Результаты приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Органолептические, физико-химические показатели ферментоллизата

Показатель	Характеристика
Цвет	Светло-желтый с кремовым оттенком, однородный по всему объему
Запах	Специфический запах, характерный для рыбного сырья, исчезающий при нахождении в открытой емкости
Консистенция	Жидкая, однородная, отличается незначительной вязкостью
Массовая доля сухих веществ, %, в том числе: белка жира минеральных веществ	$21,4 \pm 0,5$ $15,0 \pm 0,5$ $4,4 \pm 0,2$ $2,0 \pm 0,4$
Массовая доля влаги, %	$78,6 \pm 0,5$

Исследованиями установлено, что ферментоллизат отличается высоким содержанием белка, в ферментоллизат перешли минеральные вещества, содержащиеся во вторичном рыбном сырье, ферментоллизат содержит жир.

Проведено исследование протеолитической активности ферментолизата по методике Ансона и сравнение с аналогами в зависимости от различных факторов. В качестве аналогов были использованы коммерческие ферментные препараты «Коллагеназа I типа» производства Servicebio с протеолитической активностью 125 CDU/мг, «Протепсин», вырабатываемый в условиях ЗАО «Завод эндокринных ферментов» с протеолитической активностью 100 ед/г.

Для дальнейшего исследования и корректного сравнения все значения исследуемых коммерческих ферментных препаратов были переведены в единицы Ансона (мкг/мл). Данные представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Приведение единиц измерения коммерческих ферментных препаратов к единой системе исчисления

Ферментный препарат	Протеолитическая активность	
	по данным производителя	по Ансону, мкг/мл
Коллагеназа I типа	125 CDU/мг	125
Протепсин	100 ед/г	0,1

Далее исследовали активность ферментолизата и коммерческих ферментных препаратов при следующих условиях: субстрат 1 % раствор казеина в буфере 50 mM Tris-HCl при pH 7,0 и температуре 37 °C (рисунок 12).

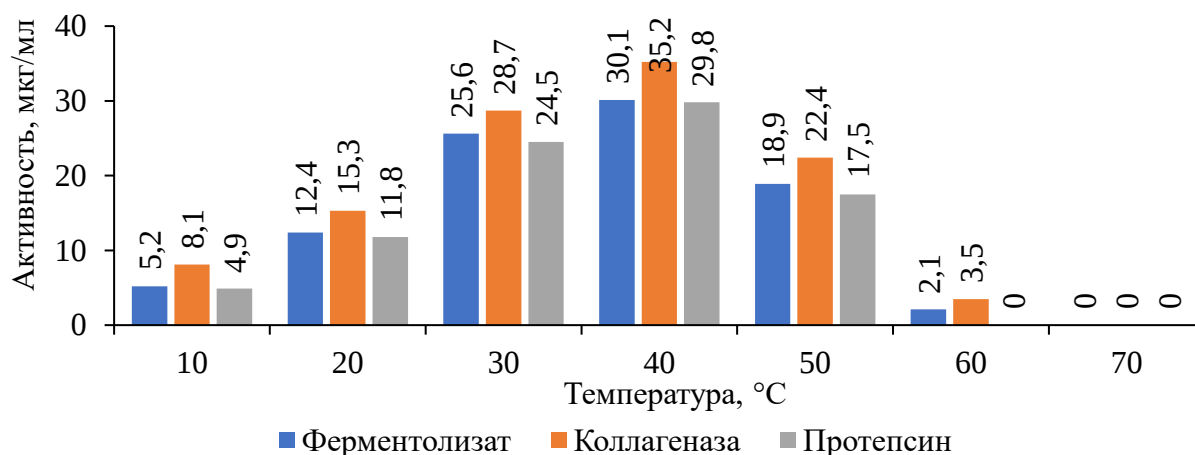


Рисунок 12 – Исследование активности ферментолизата и коммерческих ферментных препаратов

Все образцы тестировали на 1 % казеине при pH 7,0 и температуре 37 °С. Активность рассчитывали по высвобождению тирозина за 10 мин. Из полученных данных следует, что все исследуемые образцы демонстрируют умеренную активность (29,8–35,2 мкг/мл), что делает их пригодными для промышленного применения. Разработанный ферментолитат не уступает коммерческим ферментным препаратам при исследовании в стандартных условиях.

Далее исследовали активность ферментолитата и коммерческих ферментных препаратов в зависимости от pH. Результаты представлены на рисунке 13.

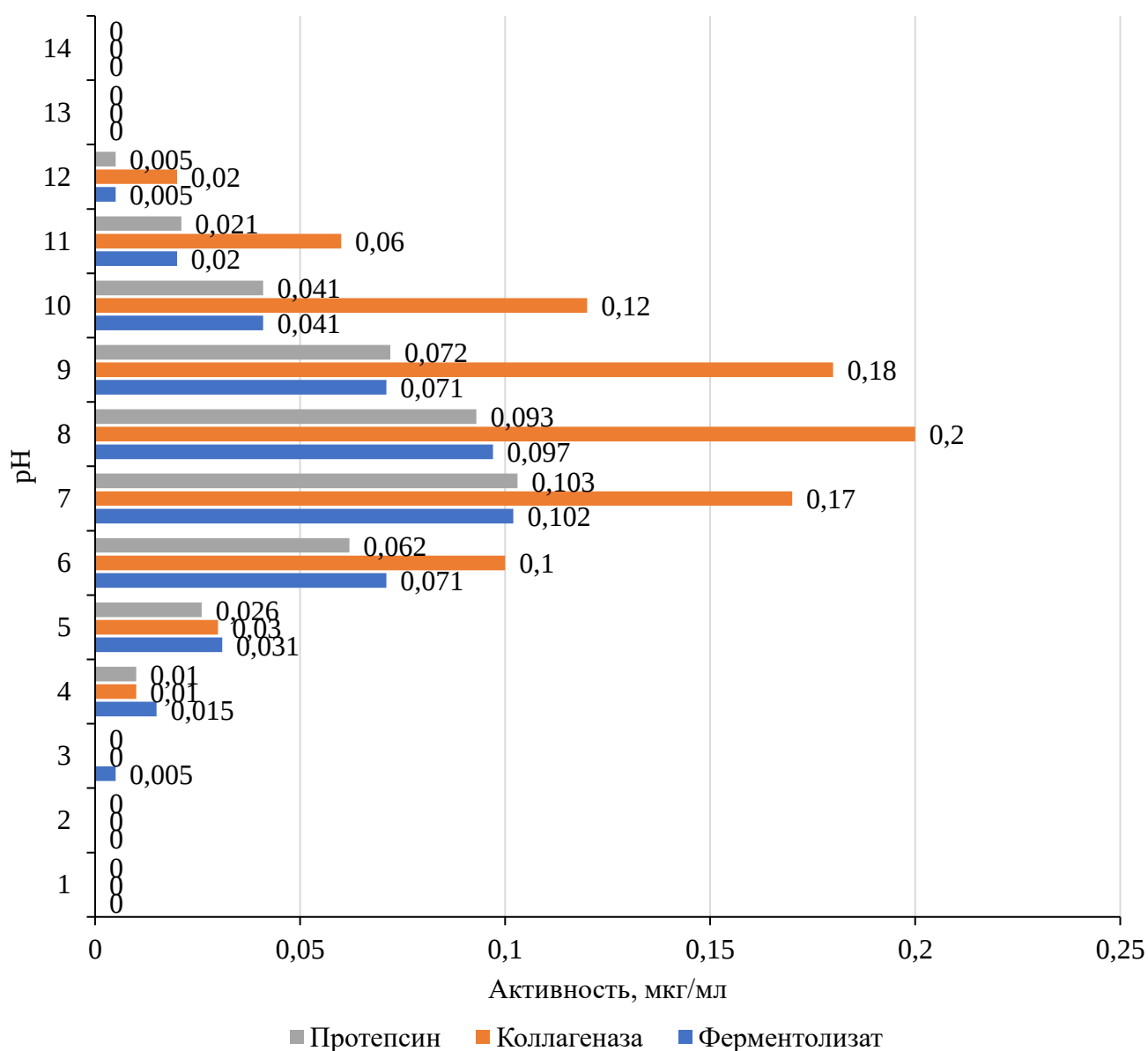


Рисунок 13 – Активность ферментолитата и коммерческих ферментных препаратов в зависимости от pH

Из данных, представленных на рисунке 13, следует, что коллагеназа наиболее активна при pH 8,0, но теряет активность в кислых условиях при pH ниже 5,0. Ферментолитат и протепсин показывают наилучшие результаты в нейтральной среде при pH 7,0, что делает их пригодными для обработки мясного сырья.

Проведены исследования протеолитической активности ферментолитата и коммерческих ферментных препаратов в зависимости от температуры при pH 7,0 (рисунок 14).

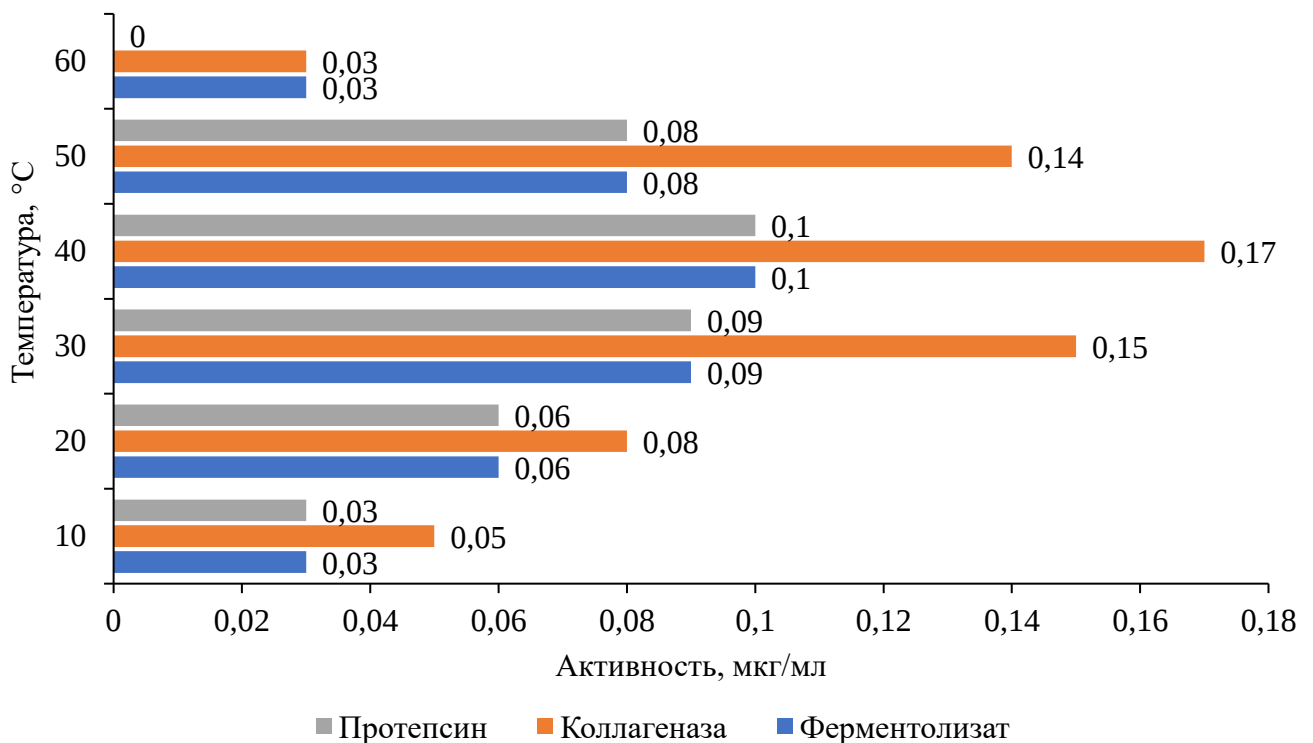


Рисунок 14 – Протеолитическая активность ферментолитата и коммерческих ферментных препаратов в зависимости от температуры при pH 7,0

У полученного ферментолитата определены оптимум активности (pH 7,0 – нейтральная среда, температура 40 °C) и рабочая активность (pH 7,0–8,0 и температура 30–40 °C). При таких параметрах сохраняется максимальная активность ферментолитата, что позволяет ему работать в нейтральной среде, которая сохраняется в мясных системах: так, в сыром мясе pH находится в диапазоне от 5,5 до 7,0, в готовых продуктах – до 6,8. В данных пределах активности ферментолитат эффективно гидролизует коллаген и миофибриллярные белки, улучшая текстуру

и усвояемость мясных продуктов, но не разрушает жиры и минеральные вещества, что сохраняет пищевую ценность мясных пищевых систем.

Экспериментально подтверждено использование вторичных ресурсов рыбного производства – чешуи с кожи, плавников рыбы и слизи, для получения ферментолизата. Определены оптимальные технологические параметры: pH 7,0, гидромодуль 1:3, температура $(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$, время 2 ч 45 мин, обеспечивающие активность ферментолизата.

Эффективность предложенной технологии получения ферментолизата заключается в использовании вторичного сырья (плавников, кожи, чешуи), что снижает себестоимость производства, так как сырье является отходом рыбной промышленности, а также снижает нагрузку на окружающую среду.

Оптимизация технологического процесса в части поддержания низких температур на этапах подготовки сырья предотвращает денатурацию белков и сохраняет активность ферментов, а применение гликольальдегида стабилизирует сырье, что способствует эффективному гидролизу. Температура гидролиза $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ соответствует пику активности протеаз, что повышает выход целевых низкомолекулярных фракций. Двухступенчатая фильтрация (50 и 23 кДа) обеспечивает высокую степень очистки, удаляя крупные частицы и концентрируя низкомолекулярные белки. Центрифугирование и фильтрация позволяют получить жидкий ферментолизат с контролируемым молекулярным профилем.

В результате получаемый ферментолизат демонстрирует активность, сопоставимую с коммерческими аналогами, а также термостабильность. Разработанный ферментолизат сопоставим с протепсином, но уступает коллагеназе в связи с ее специфическим воздействием и высокой протеолитической активностью. Преимущество ферментолизата заключается в применении вторичного сырья при его производстве, что снижает себестоимость и решает проблему утилизации отходов. Перспектива его применения в пищевой промышленности заключается в использовании в пищевых системах с нейтральным pH и умеренной температурой в технологическом процессе.

3.2 Технология, характеристика, функциональные параметры и безопасность коллагенсодержащей пищевой добавки

На данном этапе работы сформулировано определение, разработана рецептура и технология получения коллагенсодержащей пищевой добавки (КСПД).

Коллагенсодержащая пищевая добавка получена из коллагенсодержащего сырья методом ферментолиза и предназначена для выполнения технологической функции при промышленном производстве с целью обеспечения процессов изготовления мясных фаршевых продуктов.

Для получения КСПД использовалось коллагенсодержащее сырье (КСС) – кожу цыплят-бройлеров. Этап подготовки представлен на рисунке 15. Подготовка КСС состоит из промывания кожи цыплят-бройлеров в воде при температуре 10 °С, выдерживания в 3 % растворе NaCl 15 мин с последующим измельчением в куттере при 1200 об/мин и охлаждением до температуры $(7 \pm 3) ^\circ\text{C}$ и последующим соединением с ферментоллизатом.

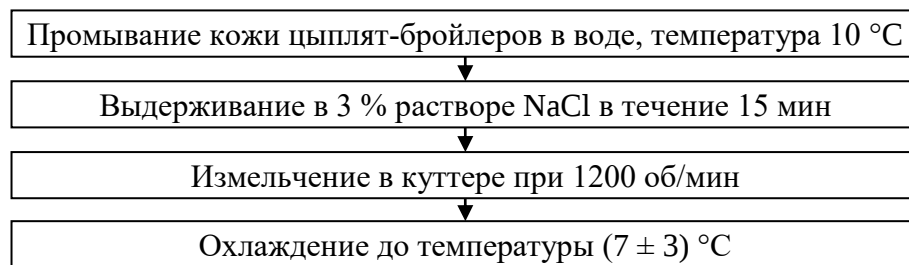


Рисунок 15 – Этап подготовки коллагенсодержащего сырья

Коллагенсодержащее сырье (кожа цыплят-бройлеров) было поделено на три группы. В первой (контрольной) группе сырье не обрабатывалось ферментным препаратом из рыбного сырья, внешний вид представлен на рисунке 16. Во второй (опытной) группе коллагенсодержащее сырье обрабатывалось ферментным препаратом из рыбного сырья в течение 30 мин. В третьей (опытной) группе коллагенсодержащее сырье обрабатывалось ферментным препаратом из рыбного сырья в течение 60 мин.



Рисунок 16 – Подготовленное коллагенсодержащее сырье

Этап подготовки коллагенсодержащего сырья и внесения ферментализата визуализирован на рисунке 17.



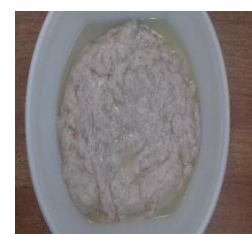
Кожа цыплят-бройлеров
и ее промывание в воде,
температура 10 °С



Выдерживание
в 3 % растворе
NaCl 15 мин



Измельчение
в куттере,
1200 об/мин



Соединение
с ферментализатом

Рисунок 17 – Этап подготовки коллагенсодержащего сырья и внесения ферментализата

В связи с тем, что визуальные различия между образцами выделить не представлялось возможным, был применен гистологический метод для оценки микро-структуры трех групп исследуемых объектов.

Образцы срезов были изучены методом микроскопии с использованием поляризационного микроскопа ПОЛАМ Л-213М ЛОМО с окуляром КК10х/18

и объектива ЛОМО ПЛАН 2,5х0,005 с выводом изображений на экран компьютера. Фрагмент исследования представлен на рисунке 18.

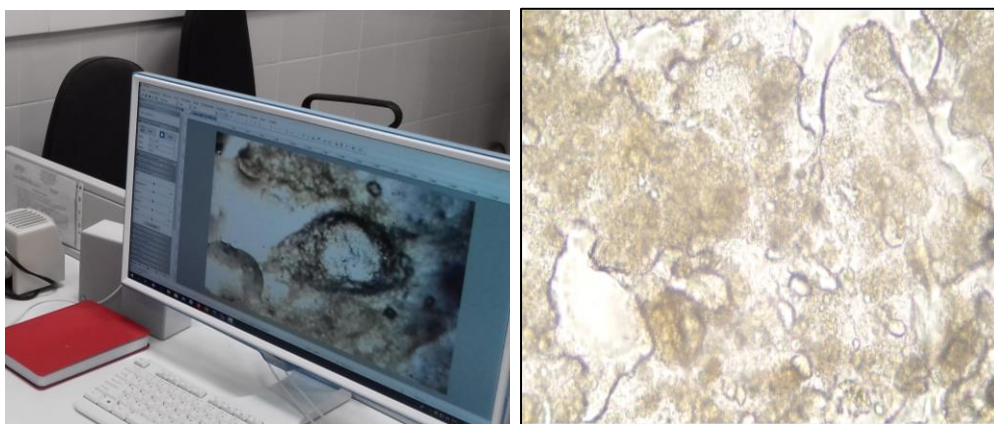


Рисунок 18 – Фрагмент проведения гистологического исследования

Снимки микроструктуры контрольного и опытных образцов кожи цыплят-бройлеров представлены на рисунке 19.

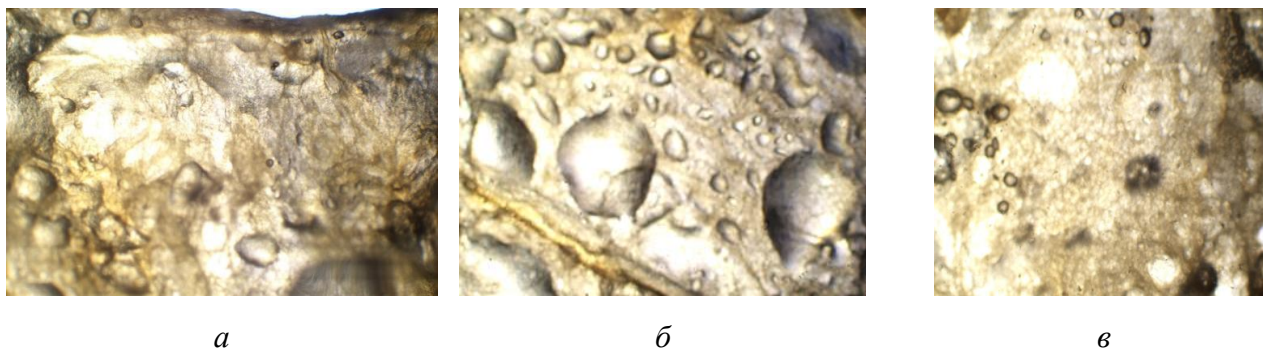


Рисунок 19 – Микроструктура контрольного (а) и опытного образца кожи цыплят-бройлеров (увеличение $\times 250$) при обработке ферментным препаратом в течение 30 мин (б) и 60 мин (в)

Установлено, что обработка кожи цыплят-бройлеров ферментом в течение 30 мин разрушает микроструктуру коллагеновых волокон, расщепляет жировые скопления на отдельные крупные островки и частично расщепляет белковые связи. Опытный образец кожи цыплят-бройлеров, обработанный в течение 60 мин, характеризуется полным высвобождением аминокислот, однородной микроструктурой без жировых скоплений. Микроструктура кожи цыплят-бройлеров отлича-

ется однородностью, отсутствием крупных жировых включений, что свидетельствует о размягчении ткани под действием ферментного препарата.

Таким образом, опытный образец кожи цыпленка-бройлера третьей группы под действием фермента на протяжении 60 мин характеризуется высоким гидролизом коллагена.

На данном этапе была использована универсальная установка для получения ферментативного гидролизата коллагенсодержащего сырья. Достигнута автоматизация технологии переработки из кожи цыплят-бройлеров.

На заключительном этапе для получения КСПД коллагенсодержащее сырье (кожа цыплят-бройлеров) подвергали сушке, технологические параметры процесса представлены на рисунке 20.

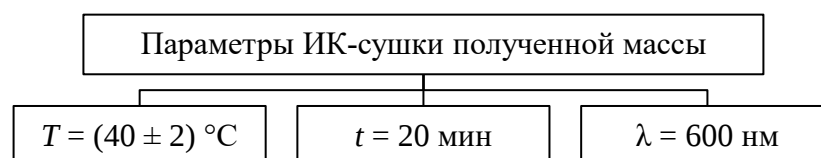


Рисунок 20 – Параметры сушки при получении КСПД

Для определения соотношения КСС и ферментолизата была составлена матрица с шагом 0,5. Характеристика представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Соотношение КСС и ферментолизата с шагом 0,5

Соотношение КСС и ферментолизата	Характеристика
99,5:0,5	Максимальная эффективность гидролиза (95,0 %) достигается благодаря балансу между активностью ферментов и сохранением структуры коллагена. Избыток ферментов отсутствует, что предотвращает деградацию полезных пептидов
99,0:1,0	Увеличение доли ферментолизата на 0,5 % приводит к снижению эффективности (89,3 %). Ферменты начинают проявлять избыточную активность, разрушая не только коллаген, но и низкомолекулярные фракции
98,5:1,5	Эффективность падает до 82,7 %. Переизбыток ферментов ускоряет гидролиз, но снижает выход целевых продуктов из-за неконтролируемого расщепления

Продолжение таблицы 20

Соотношение КСС и ферментолизата	Характеристика
98:2,0	Резкое снижение эффективности (76,4 %). Ферменты работают в «агрессивном» режиме, что негативно влияет на стабильность конечного продукта
97,5:2,5	Эффективность 68,9 %. Избыточная концентрация ферментов приводит к образованию побочных продуктов, снижающих качество КСПД
97,0:3,0	Падение эффективности до 60,2 %. Ферменты теряют специфичность, разрушая даже структурные элементы, необходимые для функциональности добавки
96,5:3,5	Эффективность 50,5 %. Гидролиз становится неселективным, что делает продукт непригодным для промышленного применения
96,0:4,0	Минимальная эффективность (40,1 %). Полное нарушение баланса: ферменты денатурируют белки, что приводит к потере технологических свойств КСПД

Далее результаты соотношения КСС и ферментолизата были уточнены с шагом 0,1. Характеристика представлена в таблице 21.

Таблица 21 – Соотношение КСС и ферментолизата с шагом 0,1

Соотношение КСС и ферментолизата	Характеристика
99,9:0,1	Низкая доля ферментолизата (0,1 %) обеспечивает умеренную активность (85,2 %). Гидролиз проходит неполностью из-за недостатка ферментов, что ограничивает выход пептидов
99,8:0,2	Эффективность повышается до 88,6 %. Увеличение ферментов улучшает гидролиз, но процесс все еще требует оптимизации
99,7:0,3	Достигается эффективность 91,3 %. Концентрация ферментов приближается к оптимальной, однако для максимального выхода требуется дополнительное количество
99,6:0,4	Эффективность 93,7 %. Ферменты работают в почти идеальном режиме, но небольшой их дефицит ограничивает пиковую производительность
99,5:0,5	Пик эффективности (95,0 %). Соотношение обеспечивает полный гидролиз коллагена без перерасхода ферментов. Баланс между скоростью реакции и сохранением полезных фракций делает продукт стабильным и качественным
99,4:0,6	Эффективность снижается до 92,4 %. Избыток ферментов начинает разрушать низкомолекулярные пептиды, снижая ценность КСПД
99,3:0,7	Падение эффективности до 89,1 %. Ферменты проявляют побочную активность, что приводит к образованию примесей

Продолжение таблицы 21

Соотношение КСС и ферментолизата	Характеристика
99,2:0,8	Эффективность 85,0 %. Гидролиз становится менее контролируемым, ухудшая функциональные свойства добавки
99,1:0,9	Снижение эффективности до 80,5 %. Избыток ферментов денатурирует белки, делая продукт непригодным для некоторых технологических процессов
99,0:1,0	Минимальная эффективность в узком диапазоне (75,3 %). Концентрация ферментов слишком высока, что нарушает структуру коллагена и снижает выход целевых компонентов

Соотношение компонентов показано на рисунке 21.

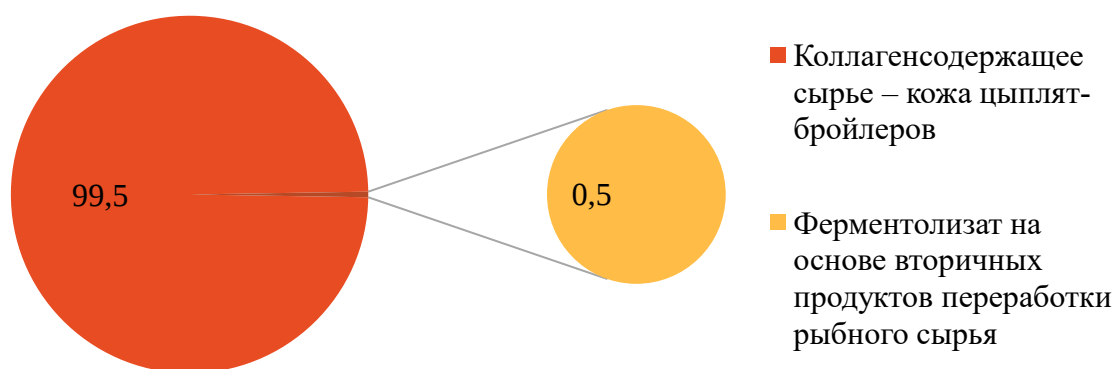


Рисунок 21 – Компоненты коллагенсодержащей пищевой добавки, %

Таким образом, для изготовления КСПД была разработана технология ферментолизата из вторичного рыбного сырья, представляющая собой параллельно осуществляемые процессы подготовки коллагенсодержащего сырья и вторичных ресурсов переработки рыбы. На этапе охлаждения перед фильтрованием коллагенсодержащее сырье соединяют с ферментоллизатом и проводят дальнейшую обработку для получения мелкого сыпучего порошка, используемого в технологии производства мясных систем. Технология представлена на рисунке 22.

Машинно-аппаратурная схема получения коллагенсодержащей пищевой добавки представлена на рисунке 23.

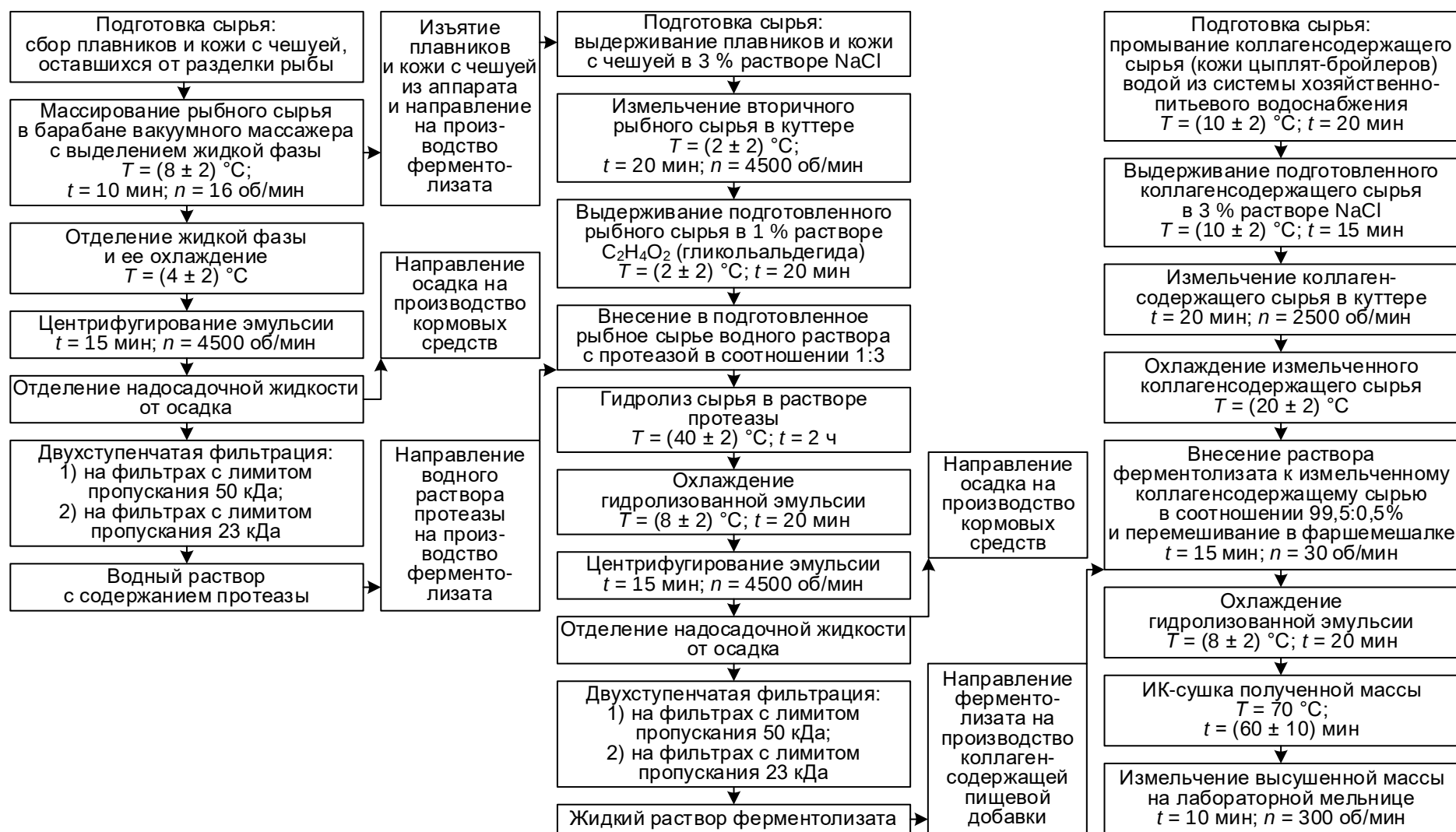


Рисунок 22 – Технология получения коллагенсодержащей пищевой добавки

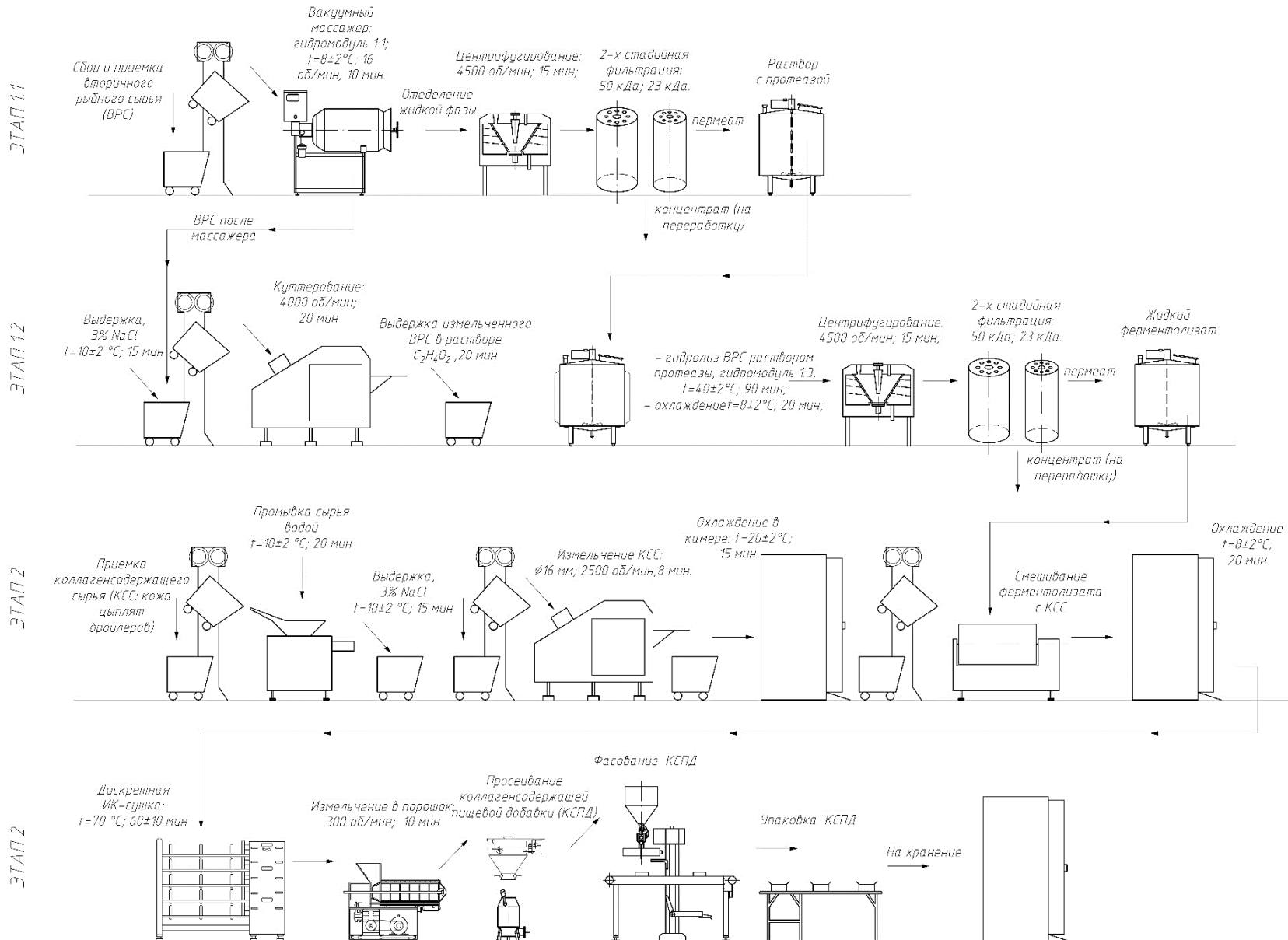


Рисунок 23 – Машинно-аппаратурная схема получения коллагенсодержащей пищевой добавки

Определяли химический состав разработанной коллагенсодержащей пищевой добавки, результаты представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Химический состав коллагенсодержащей пищевой добавки

Показатель	Содержание, %
Массовая доля влаги	$9,1 \pm 0,2$
Массовая доля белка	$70,0 \pm 2,4$
Массовая доля белка в сухом веществе	$81,0 \pm 1,2$
Массовая доля коллагена к массе общего белка	$64,4 \pm 1,7$
Массовая доля жира	$14,0 \pm 0,9$
Массовая доля золы	$6,4 \pm 0,4$

Разработанная КСПД по массовой доле белка, в том числе в сухом веществе, массовой доле жира и содержанию влаги соответствует требованиям первой категории ГОСТ 33692-2015. Установлено, что разработанная добавка отличается высоким содержанием белка, что согласуется с литературными данными, – это позволяет отнести ее к классу белковых добавок, а содержание коллагена по отношению к массе общего белка 64,4 % обосновывает ее принадлежность к коллагенсодержащим добавкам.

Однако КСПД отличается достаточно высоким содержанием жира, что связано с особенностями исходного сырья. Используемое коллагенсодержащее сырье – кожа цыплят-бройлеров – отличается высоким содержанием жира (по различным данным от 20,0 % до 37,0 % [230]), что, в свою очередь, обусловило его высокое содержание в КСПД. Соотношение белка и жира составило 1:0,2, что соответствует определению КСПД, подчеркивая ее специфичность в отличие от белково-жировых добавок, для которых это соотношение составляет 1:1 и рассматривается как оптимальное и сбалансированное [91].

Проведены исследования качества коллагенсодержащей пищевой добавки. Нормы по ГОСТ 33692-2015 «Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия», рекомендуемые значения и фактические результаты представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Идентификационные характеристики, регламентированные значения и фактические показатели качества коллаген-содержащей пищевой добавки

Показатель	Требования ГОСТ 33692-2015	Регламентируемое значение	Фактическое значение
Внешний вид	Сухой продукт однородной консистенции в виде волокнистой массы, или сыпучего мелкого порошка, или сыпучего порошка, содержащего единичные или агломерированные частицы. Для порошков допускается наличие комочков более крупного размера, рассыпающихся при легком механическом надавливании	Сухой продукт однородной консистенции в виде мелкогранулированного сыпучего порошка. Допускается наличие комочков, рассыпающихся при легком механическом надавливании	Сухой продукт однородной консистенции в виде мелкогранулированного сыпучего порошка с диаметром частиц 100 мкм. Присутствуют агломерированные частицы более крупного размера, рассыпающиеся при легком механическом надавливании
Цвет	От белого до светло-коричневого	От белого до розового, однородный	Светло-розовый, однородный по всей массе
Запах	Свойственный исходному сырью, без постороннего запаха	Свойственный исходному сырью, без постороннего запаха	Свойственный исходному сырью, без постороннего запаха
Массовая доля белка в сухом веществе, %	Высшая категория – не менее 90,0. Первая категория – не менее 80,0	Не менее 80,0	81,0
Массовая доля жира, %	Не более 16,0	Не более 16,0	14,0
Массовая доля влаги, %	Не более 10,0	Не более 10,0	9,1
Массовая доля коллагена к массе общего белка, %	Не менее 60,0	Не менее 60,0	64,4
Влагосвязывающая способность, %	Не менее 500,0	Не менее 500,0	674,0
Гелеобразующая способность, %	Не менее 400,0	Не менее 400,0	528,0
Жироэмульгирующая способность, %	Регламентируется в документе, в соответствии с которым изготовлены животные белки	Не менее 100,0	123,0
Степень набухания (Н), %	Не регламентируется	Не ниже 70,0	110,0
Степень гидратации, г компонента/г воды	Не регламентируется	Не ниже 1:1	1:17

При оценке качества коллагенсодержащей пищевой добавки на соответствие требованиям ГОСТ 33692-2015, предусматривающего градацию животных белков по физико-химическим и функциональным показателям на категории – высшую, первую и вторую, установлено, что разработанная КСПД по массовой доле белка в сухом веществе, массовой доле жира и содержанию влаги соответствует требованиям первой категории, что явилось основанием отнесения КСПД к первой категории и вынесения данной категории в маркировку продукта «Коллагенсодержащая пищевая добавка первой категории».

С целью обоснования и прогнозирования поведения разработанной коллагенсодержащей пищевой добавки в технологии мясных систем определяли функционально-технологические свойства: влагосвязывающую (ВСС), жирозэмульгирующую (ЖЭС) и гелеобразующую способность (ГС). Результаты их определения, а также требования в соответствии с нормативными документами и рекомендуемые значения представлены в таблице 24. Кроме того, исследования показали необходимость включения степени набухания и степени гидратации в перечень определяемых свойств, которые важны для обеспечения ВСС и ГС.

Таблица 24 – Функционально-технологические свойства КСПД

Показатель	Требования ГОСТ 33692-2015	Значение	Рекомендуемое значение
Влагосвязывающая способность, %	Не менее 500,0	$674,0 \pm 12,2$	Не менее 500,0
Гелеобразующая способность, %	Не менее 400,0	$528,0 \pm 10,6$	Не менее 400,0
Жирозэмульгирующая способность, %	Регламентируется в документе, в соответствии с которым жи- вотные белки изготовлены	$123,0 \pm 9,4$	100,0
Степень набухания (Н), %	Не регламентируется	$110,0 \pm 1,1$	Не ниже 70,0
Степень гидратации, г компонента/г воды	Не регламентируется	1:17	Не ниже 1:1

Полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале разработанной КСПД. Можно предположить, что благодаря своим свойствам КСПД способна обеспечивать высокую водосвязывающую способность. Это связано с тем,

что коллаген, входящий в состав добавки, является влагоудерживающим агентом и обладает высокой влагоудерживающей способностью, что будет способствовать уменьшению потерь влаги и питательных компонентов при термообработке и повышать выход готового продукта. Добавка способна эмульгировать жир и образовывать прочные эластичные гели при соотношении КСПД с водой 1:17. Отмечено, что показатели ВСС, ГС и ЖЭС разработанной КСПД согласуются с полученными и опубликованными данными исследователей [184], имеющиеся различия связаны с разнообразием используемого сырья и технологией производства добавок. Таким образом, высокие значения функционально-технологических свойств разработанной пищевой добавки предполагают возможность ее использования при производстве мясных фаршей для улучшения функционально-технологических свойств сырья и стабилизации структуры готовой продукции.

Разработанные регламентированные показатели отражены в ТУ 929150-091-02069214-2025 «Коллагенсодержащая пищевая добавка», функционально-технологические показатели, включая степень набухания и гидратации, – в технологической инструкции на КСПД.

Качество коллагенсодержащей пищевой добавки оценивается не только ее химическим составом и функционально-технологическими свойствами, но и показателями биологической ценности. Количество белка и его аминокислотный состав, согласно литературным данным, являются важным фактором, обуславливающим функциональность животных белковых препаратов [175]. Известно также [122], что характер биологической активности белков определяется аминокислотным составом и молекулярной массой белковых фракций: чем ниже молекулярная масса, тем выше усвояемость и активнее физиологические эффекты [65] и выше функциональные свойства добавок, в отличие от препаратов, основу которых составляют фракции более высокого порядка.

В связи с этим исследовали фракционный состав коллагенсодержащей пищевой добавки, результаты представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Фракционный состав коллагенсодержащей пищевой добавки

Молекулярная масса, кДа	Содержание, %
36–23	28
22–18	47
Менее 18	25

Установлено, что белок разработанной коллагенсодержащей пищевой добавки представлен фракциями с молекулярной массой менее 100 кДа, что может свидетельствовать о достаточно глубоком ферментоллизе при разработке КСПД, позволяющем получать низкомолекулярные пептиды с молекулярной массой от 10 до 100 кДа, которые, по мнению А. Т. Idowu и др. [227], обладают уникальными свойствами и могут быть использованы как функциональные пищевые ингредиенты. Вместе с тем полученные данные свидетельствуют о возможном потенциале ферментоллиза, так как идеальный вариант молекулярной массы белковых фракций, согласно данным А. León-López и др. [234], для коллагеновых гидролизатов составляет от 3 до 6 кДа, в то время как нативный коллаген имеет молекулярную массу около 300 кДа.

При оценке биологической ценности продуктов количественное и качественное исследование белкового компонента имеет большое значение, так как позволяет оценить его значимость для организма человека. Кроме того, как подчеркивается в работе К. И. Спиридонова и Е. К. Туниевой [175], аминокислотный состав в большей степени, чем количественное содержание белка, оказывает влияние на функционально-технологические свойства белковых добавок, в том числе коллагенсодержащих.

Характеристика аминокислотного профиля разработанной коллагенсодержащей пищевой добавки представлена в таблице 26.

Исследованиями установлено, что белковый компонент КСПД представляет собой ценную биологическую систему, и, несмотря на наличие лимитирующих аминокислот и аминокислот, содержащихся в избыточном количестве, определены высокие значения формализованных показателей.

Таблица 26 – Характеристика аминокислотного профиля КСПД

Показатель	Характеристика
Общее количество аминокислот, мг/100 г	70 002,0
Сумма незаменимых аминокислот, мг/100 г	25 200,71
Сумма незаменимых аминокислот, %	36,0
Сумма заменимых аминокислот, мг/100 г	44 801,20
Сумма заменимых аминокислот, %	64,0
Аминокислотный скор, %	102,8
Лимитирующая аминокислота (скор, %)	Изолейцин (97,5), лейцин (94,3), лизин (85,5), метионин + цистин (85,7), треонин (97,5)
Избыточное количество аминокислот, %	Валин (134,0), фенилаланин + тирозин (120,0)
Соотношение незаменимых и заменимых аминокислот (0,56–0,67 [123])	0,56
Соотношение метионина и изолейцина (0,60 по [123])	0,41
Биологическая ценность	83,4
Коэффициент различия аминокислотного скор, %	16,6
Коэффициент утилитарности аминокислоты	0,83
Коэффициент сопоставимой избыточности	0,06

С опорой на данные К. И. Спиридонова и К. И. Туниевой [175] установлено, что присутствующие в белковом компоненте аминокислоты серин, глицин и треонин имеют выраженную положительную корреляцию с влагосвязывающей способностью; кроме того, серин, гистидин, аланин, цистеин, валин, метионин, изолейцин и лизин имели коэффициент корреляции с ЖЭС выше 0,5.

Вместе с тем в структуре аминокислот присутствуют аминокислоты с отрицательной корреляцией со всеми функционально-технологическими свойствами: изолейцин, лизин и валин, что может потребовать корректировки в случае снижения функционально-технологических свойств. Полученная коллагенсодержащая пищевая добавка отличается высоким содержанием неполярных (гидрофобных) аминокислот, в частности, аланина (9,1 %), валина (6,7 %), лейцина (6,6 %), изолейцина (3,9 %), что свидетельствует о наличии гидрофобных связей и стабильности пространственной структуры, а наличие аспарагиновой (6,7 %) и глутамино-

вой кислот (10,4 %) свидетельствует о предполагаемой активности полученной добавки в слабокислой и нейтральной среде.

В структуре белкового компонента коллагенсодержащей пищевой добавки почти 2/3 занимают заменимые аминокислоты, что вызывает определенный интерес к их исследованию. Информация о содержании заменимых аминокислот представлена на рисунке 24.

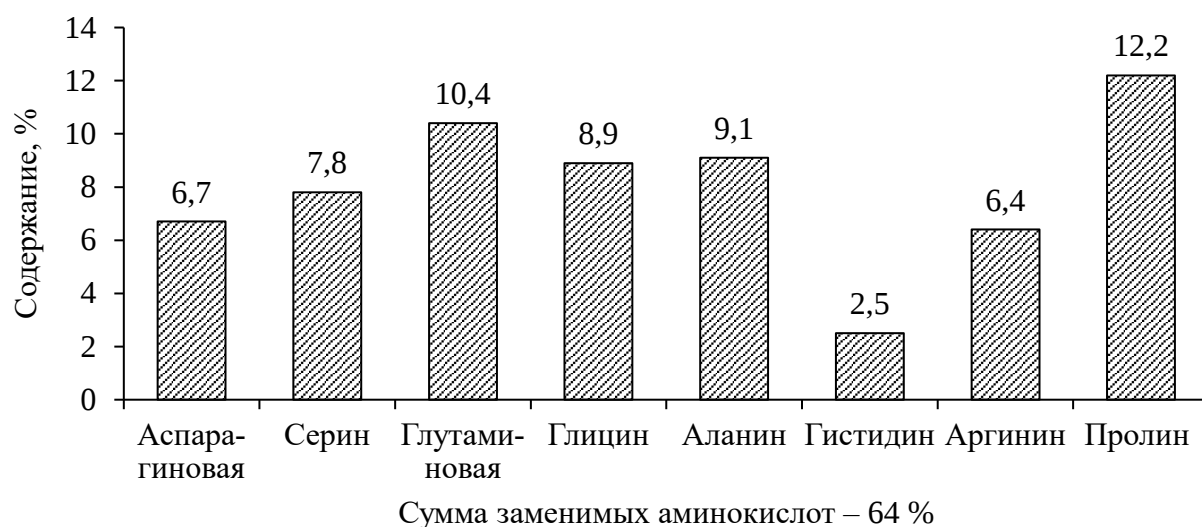


Рисунок 24 – Профиль заменимых аминокислот КСПД

Так, наличие в составе аминокислот глицина (8,9 %) и пролина (12,2 %) и незаменимой аминокислоты лизина (4,7 %) можно рассматривать как идентифицирующий показатель коллагенсодержащей пищевой добавки. Кроме того, отсутствие убедительных доказательств того, что синтез заменимых аминокислот осуществляется в достаточном количестве для удовлетворения физиологических потребностей, и доказательств того, что при ограниченном поступлении белка в организм человека с пищей лимитирующими могут стать и заменимые аминокислоты, необходимо, чтобы белковый модуль компонентов пищи обладал и заменимыми и незаменимыми аминокислотами.

Далее провели анализ гигиенических показателей коллагенсодержащей пищевой добавки, результаты представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Гигиенические показатели коллагенсодержащей пищевой добавки

Показатель	Массовая доля, мг/кг	
	согласно ТР ТС 021/2011, не более	КСПД (сухой порошок)
Свинец	0,50	0,02
Мышьяк	0,20	0,01
Кадмий	0,03	Менее 0,01
Ртуть	0,02	Менее 0,01

Результаты определения токсичных элементов согласно ТР ТС 021/2011 показали соответствие коллагенсодержащей пищевой добавки нормируемым требованиям безопасности, что определяет ее пригодность для использования в технологии мясных систем.

Определяли микробиологические показатели разработанной КСПД, результаты представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Микробиологические показатели КСПД

Показатель	Норма по ТР ТС 021/2011	Фактическое значение	
		в начале хранения	после 6 мес. хранения
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $1,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^4$
БГКП (колиформы)	Не допускаются в 0,1 г продукта	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	Не допускаются в 25 г продукта	Не обнаружены	Не обнаружены

С учетом наличия в составе КСПД достаточно высокого количества жира, склонного к прогорканию, провели исследования перекисного числа разработанной КСПД. Исследования проводили при хранении в течение 6 мес. по истечении каждых 30 сут. Хранение КСПД осуществляли в упакованном виде при температуре не выше 25 °С и относительной влажности воздуха не более 70 %. Результаты представлены на рисунке 25.



Рисунок 25 – Изменение перекисного числа липидов КСПД в процессе хранения

Таким образом, в результате исследований разработана технология коллагенсодержащей пищевой добавки из кожи цыплят-бройлеров путем обработки ферментоллизатом протеолитического действия.

Исследованы органолептические показатели, функционально-технологические свойства ферментоллизата.

Проведены исследования органолептических показателей коллагенсодержащей пищевой добавки.

Проведены исследования антиоксидантной активности коллагенсодержащей пищевой добавки. Установлено, что антиоксидантная активность опытных образцов составляет 3,1 мМ-экв.

Полученная коллагенсодержащая пищевая добавка отличается высоким содержанием коллагена к общей массе белка, улучшенными функционально-технологическими свойствами, что позволяет использовать ее в рецептуре пищевых продуктов для коррекции аминокислотного состава, реологических свойств сырья и повышения выхода новых продуктов.

Коллагенсодержащая пищевая добавка подлежит декларации о соответствии требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции».

Заключение по главе 3

Для разработки коллагенсодержащей пищевой добавки был сформирован алгоритм исследований, включающий подбор и подготовку сырья для выделения протеазы, дальнейшего получения ферментолизата и непосредственно разработки технологии КСПД.

Разработана технология выделения раствора с протеазой из горбуши из плавников и кожи с чешуей горбуши (вторичных рыбных отходов).

Определена молекулярная масса раствора с протеазой на масс-спектрометре и установлено, что фракции образцов содержат аминокислоты и повторяющиеся мотивы GNPPIYR, что указывает на наличие структурных или функциональных областей с другими свойствами. Раствор содержит незаменимые (39,39 %) и заменимые (60,61 %) аминокислоты. Иными словами, раствор содержит значительное количество аминокислот, которые организм не может синтезировать самостоятельно, но при этом богат и заменимыми аминокислотами, играющими важную роль в метаболизме и синтезе белков.

Полученный раствор протеазы представляет собой 1000 г эмульсии, которая состоит на 70 % из воды и на 30 % сухих веществ. Химический состав ферментолизата на 100 г продукта составляет 20 г белков, 6 г жира, 4 г минеральных веществ.

Определение ферментативной активности показало, что наибольшая удельная активность раствора протеазы 0,048 мкмоль/мкг наблюдается при ее концентрации 100 мкг/мл. Это указывает на эффективность фермента при низких концентрациях.

Апробирована технология получения ферментолизата из вторичного рыбного сырья и получен жидкий ферментолизат, обогащенный низкомолекулярными белковыми фракциями, что достигается за счет сочетания ферментативного гидролиза и многоступенчатой обработки сырья.

Исследование молекулярного распределения фракций показало, что при гидромодуле 1:3, температуре 36 °С и времени гидролиза 90 мин достигается максимальное содержание фракции размером от 22 до 18 кДа – 85 %.

Определены органолептические показатели полученного ферментолизата, которые характеризуют его как жидкую однородную массу светло-желтого цвета с кремовым оттенком, однородную по всему объему, со специфическим запахом, характерным для рыбного сырья. Определены физико-химические показатели, а именно массовая доля белка ($15,0 \pm 0,5$) %, массовая доля жира ($4,4 \pm 0,2$) %, массовая доля минеральных веществ ($2,0 \pm 0,4$) %, массовая доля влаги ($78,6 \pm 0,5$) %.

У полученного ферментолизата определены оптимум активности (рН 7,0 – нейтральная среда, температура 40 °С) и рабочая активность (рН 7,0–8,0 и температура 30–40 °С). При таких параметрах сохраняется максимальная активность ферментолизата, что позволяет ему работать в нейтральной среде, которая сохраняется в мясных системах (в сыром мясе рН находится в диапазоне от 5,5 до 7,0, в готовых продуктах – до 6,8).

Определены оптимальные технологические параметры: рН 7,0, гидромодуль 1:3, температура (40 ± 3) °С, время 2 ч 45 мин, обеспечивающие активность ферментолизата.

Разработаны рецептура и технология получения коллагенсодержащей пищевой добавки из кожи цыплят-бройлеров и определены соотношения коллагенсодержащего сырья и ферментолизата для получения КСПД. Максимальная эффективность гидролиза (95,0 %) достигается при соотношении КСС и ферментолизата 99,5:0,5.

Были получены результаты химического состава коллагенсодержащей пищевой добавки по таким показателям, как массовая доля влаги ($9,1 \pm 0,2$) %, массовая доля белка ($70,0 \pm 2,4$) %, массовая доля белка в сухом веществе ($81,0 \pm 1,2$) %, массовая доля коллагена к массе общего белка ($64,4 \pm 1,7$) %, массовая доля жира ($14,0 \pm 0,9$) %, массовая доля золы ($6,4 \pm 0,4$) %.

Функционально-технологические показатели КСПД: влагосвязывающая способность ($674,0 \pm 12,2$) %, гелеобразующая способность ($528,0 \pm 10,6$) %, жиро-

эмульгирующая способность $(123,0 \pm 9,4) \%$, степень набухания $(110,0 \pm 1,1) \%$, степень гидратации 1:17 г компонента/г воды.

Коллагенсодержащая пищевая добавка содержит фракции с молекулярной массой от 36 до 23 кДа в количестве 28 %, от 22 до 18 кДа – 47 % и менее 18 кДа – 25 %.

Определен аминокислотный профиль КСПД: общее количество аминокислот 70 002,0 мг/100 г; сумма незаменимых аминокислот 25 200,71 мг/100 г, или 36,0 %; сумма заменимых аминокислот 44 801,20 мг/100 г, или 64,0 %; аминокислотный скор 102,8 %; лимитирующая аминокислота (скор, %) – изолейцин (97,5), лейцин (94,3), лизин (85,5), метионин + цистин (85,7), треонин (97,5); избыточное количество аминокислот, % – валин (134,0), фенилаланин + тирозин (120,0); соотношение незаменимых и заменимых аминокислот 0,56; соотношение метионина и изолейцина 0,4; биологическая ценность 83,40; коэффициент различия аминокислотного сора 16,6 %; коэффициент утилитарности аминокислотного состава 0,83; коэффициент сопоставимой избыточности 0,06.

Коллагенсодержащая пищевая добавка подлежит декларированию соответствия требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции».

4 Практическая реализация применения коллагенсодержащей пищевой добавки в мясных системах

4.1 Исследование и обоснование функционально-технологических свойств мясных фаршей с использованием коллагенсодержащей пищевой добавки

Мясным фаршам при производстве мясной продукции отводится особая роль как универсальному ингредиенту, широко используемому при приготовлении различных изделий и блюд на предприятиях мясной и птицеперерабатывающей промышленности, индустрии питания и в домашних условиях. Формирование ассортимента мясных фаршей традиционно осуществляется за счет комбинирования различных видов мяса и субпродуктов, внесения компонентов растительного происхождения, их комбинаций в сочетании с различными пряностями и специями [126]. Вместе с тем установлено, что проблемы мясной отрасли, связанные с повышением стоимости основных видов мясного сырья, потребовали от переработчиков разработки и внедрения в производство мясных фаршей низко-сортного сырья, вторичных продуктов убоя, соевых продуктов и белковых препаратов и др., что, безусловно, позволило снизить себестоимость продукции, но повлекло за собой снижение пищевой, в частности биологической, ценности и органолептических свойств мясных фаршей. Кроме того, в последнее время остро обозначилась проблема нерационального использования сырья при производстве мяса и мясных продуктов, выражающаяся в образовании отходов, составляющих от 30 % до 70 % от массы исходного сырья [130], которые отличаются высоким содержанием соединительной ткани – около 16 % [154]. В состав белков соединительной ткани входит 20–35 % коллагена, на долю которого приходится треть всей массы белков животного организма, поэтому в условиях дефицита белков животного происхождения попадание столь значительного количества коллагена

в отходы недопустимо. Вовлечение в производство мясных фаршей соединительной ткани позволит решить три важных задачи: рациональное использование сырья, снижение нагрузки на окружающую среду и производство продукции, соответствующей современным представлениям о питании.

Целью исследования на данном этапе явилось изучение практических аспектов изготовления модельных мясных фаршей с использованием коллагенсодержащей пищевой добавки и определение степени ее воздействия на органолептические показатели, микроструктуру и функционально-технологические свойства.

Для определения степени воздействия были приготовлены модельные образцы: фарш из мяса птицы механической обвалки, мясной фарш из котлетного мяса на основе говядины, полученной из животных, разводимых на Урале, преимущественно комбинированного направления, и отличающихся высоким содержанием соединительной ткани. В соответствии с ГОСТ Р 55365-2012 «Фарш мясной. Технические условия» котлетное мясо должно содержать не менее 80 % мышечной и 20 % соединительной ткани. Было установлено, что фактическое содержание мышечной ткани составило 76,4 %, а соединительной – 23,6 %, что не соответствовало требованиям стандарта, однако удовлетворяло условиям нашего эксперимента. Образцы говядины представлены на рисунке 26.



Рисунок 26 – Котлетное мясо

В мясе котлетном из говядины определяли органолептические показатели по ГОСТ 7269-2015 «Мясо. Методы отбора образцов и органолептические методы определения свежести». Результаты исследования представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Результаты оценки доброкачественности мяса котлетного из говядины

Показатель	Требования ГОСТ	Фактическая характеристика
Внешний вид и цвет поверхности туши, полутуши	Туши, полутуши имеют корочку подсыхания, бледно-розового или бледно-красного, или темно-красного цвета; у размороженных туш, полутуш – красного цвета, жир мягкий, частично окрашен в ярко-красный цвет	Куски различной величины и формы, с наличием соединительной и жировой ткани. Соединительная ткань чистая в виде пленки. Мышечная ткань красно-коричневого цвета, жир мягкий, беловато-кремового цвета. Крупные куски имели корочку подсыхания, мелкие были слегка увлажнены
Мышцы на разрезе	Слегка влажные; не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге. Цвет свойственный данному виду мяса: для говядины – от светло-красного до темно-красного	Мышцы на разрезе не оставляли влажного пятна на фильтровальной бумаге. Цвет свойственный говядине
Консистенция	Плотная, упругая. У размороженного мяса – менее плотная, менее упругая. Образующаяся при надавливании ямка быстро выравнивается	Консистенция плотная, упругая. При надавливании образующаяся ямка выравнивалась быстро
Запах	Специфический, свойственный для каждого вида свежего, доброкачественного мяса	Свойственный, характерный для свежего доброкачественного мяса
Состояние жира (цвет, запах, консистенция)	Жир не имеет запаха осаливания или прогоркания; говяжий – белого, желтоватого или желтого цвета; консистенция плотная, при раздавливании крошится	Жир белого цвета, консистенция плотная, без постороннего запаха и признаков порчи
Состояние сухожилий	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, от светло-розового до темно-красного цвета. У размороженного мяса сухожилия менее плотные, рыхлые, поверхность суставов гладкая, блестящая, темно-красного цвета	Сухожилия менее плотные, рыхлые, поверхность суставов гладкая, блестящая, темно-красного цвета
Прозрачность и запах бульона	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса

Исследованиями установлено, что мясо котлетное из говядины согласно стандарту соответствует доброкачественному мясу, по стандартным характеристикам – котлетному мясу, поэтому может быть использовано для приготовления мясного полуфабриката – мясного фарша.

Были сформированы модельные образцы, по два в каждой группе: первый рассматривали как контрольный, второй – опытный, с коллагенсодержащей пищевой добавкой. Добавку в количестве 0,5 % к массе сырья вносили в фарш на стадии измельчения, что позволяло равномерно распределить ее и обеспечить контакт с соединительнотканными прослойками мяса.

На первом этапе провели оценку органолептических свойств приготовленных модельных фаршей, результаты которой представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Результаты органолептического исследования модельных образцов

Показатель	Фарш из мяса птицы механической обвалки (ГОСТ 31490-2012)		Фарш из котлетного мяса на основе говядины (ГОСТ Р 55365-2012)	
	Контрольный образец	Опытный образец	Контрольный образец	Опытный образец
Внешний вид	Тонко измельченная, однородная мясная масса, слегка липкая поверхность	Тонко измельченная, однородная мясная масса, слегка липкая поверхность	Однородная мясная масса, не содержит костей, сухожилий, грубой соединительной ткани, пленок и сгустков крови	Однородная мясная масса, не содержит костей, сухожилий, грубой соединительной ткани, пленок и сгустков крови
Цвет	Светло-розовый, с наличием незначительных участков серого цвета	Светло-розовый	От красного до темно-красного	От красного до темно-красного
Степень измельчения	Пастообразная	Пастообразная	Не более 8,0 мм	Не более 8,0 мм
Консистенция	Вязкая, слегка жидковатая	Вязкая	Упруго-пластичная	Упруго-пластичная, с признаками пастообразности
Запах	Слабовыраженный, без посторонних запахов	Слабовыраженный, без посторонних запахов	Свойственный доброкачественному мясу	Свойственный доброкачественному мясу

Исследованиями установлено, что использование коллагенсодержащей пищевой добавки не оказывает влияния на такие показатели, как внешний вид и цвет, однако в ходе органолептических исследований отмечено влияние КСПД на консистенцию фарша, что связано с трансформацией белков, вызывающих изме-

нение консистенции, которая приобретает признаки пастообразной массы, не ухудшая при этом внешний вид и сохраняя упруго-пластичные свойства.

Коллагенсодержащая пищевая добавка применяется для придания определенных функционально-технологических свойств присутствующим в основном мясном сырье миофибриллярным белкам, при этом обеспечивая гомогенную структуру продукта за счет высокой влагосвязывающей и влагоудерживающей способности.

Под функционально-технологическими свойствами мясного сырья понимают совокупность показателей, характеризующих уровни эмульгирующей, водосвязывающей, жиро-, водопоглощающей и гелеобразующей способности, структурно-механические свойства (липкость, вязкость, пластичность и т. д.), сенсорные характеристики (цвет, вкус, запах), величину выхода и потерь при термообработке мясных систем.

Для мясных фаршей наибольшее значение приобретают такие свойства, как влагосвязывающая, влагоудерживающая и жироудерживающая способность, и корреляция этих свойств с органолептическими показателями.

Результаты исследования функционально-технологических свойств фарша представлены в таблице 31.

Таблица 31 – Функционально-технологические свойства фарша

Образец	ЖУС, %	ВСС, %	ВУС, %
Контрольный образец 1 (мясо птицы механической обвалки)	12,8 ± 0,1	73,2 ± 0,1	36,4 ± 0,3
Опытный образец 1 (мясо птицы механической обвалки с коллагенсодержащей пищевой добавкой)	15,2 ± 0,1	76,1 ± 0,1	46,8 ± 0,3
Контрольный образец 2 (говяжье мясо с повышенным содержанием соединительной ткани)	20,2 ± 0,1	74,3 ± 0,1	55,1 ± 0,3
Опытный образец 2 (говяжье мясо с повышенным содержанием соединительной ткани и коллагенсодержащей пищевой добавкой)	24,1 ± 0,1	77,5 ± 0,1	62,4 ± 0,3

Исследования показали следующие результаты. Влагосвязывающая способность является важнейшим функциональным свойством сырого фарша. Она пока-

зывает степень связи белка с иммобилизованной (связанной с белком) и свободной водой. Важность показателя связана с изменениями морфологического состава котлетного мяса. Доказано, что повышение соединительной ткани и уменьшение мышечной, что характерно для наших условий эксперимента, ведет к снижению влаги. Определение влагосвязывающей способности показало, что опытные образцы фаршей имели более высокие ее значения: для фарша из мяса птицы механической обвалки увеличение составило 2,9 %, для фарша из котлетного мяса на основе говядины – на 3,2 %, что обусловлено использованием коллагенсодержащей пищевой добавки, включающей коллагеновые белки, характеризующиеся способностью удерживать влагу.

Далее исследовали микроструктуру образцов фарша гистологическим методом. На рисунке 27 представлена микроструктура фарша из мяса птицы механической обвалки до и после внесения КСПД. В контрольном образце идентифицированы основные сырьевые компоненты: мышечная и жировая ткань, наличие частиц хрящевидной ткани и крупные частицы плотной соединительной ткани, что характерно для мяса птицы механической обвалки. Опытный образец характеризовался однородностью структуры в виде мелкозернистой белковой массы с биомодифицированными соединительнотканными прослойками.

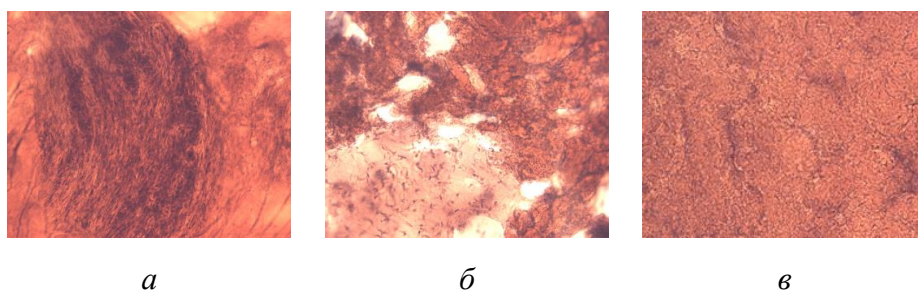


Рисунок 27 – Результаты гистологического исследования образцов фарша из мяса птицы механической обвалки до (*а*, *б*) и после (*в*) внесения КСПД

На рисунке 28 представлена микроструктура фарша из говядины до и после внесения КСПД.

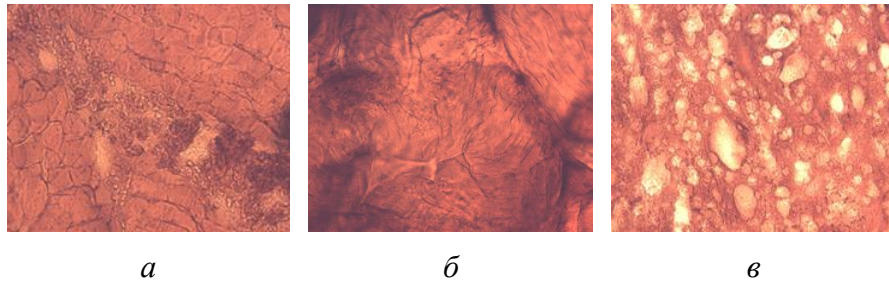


Рисунок 28 – Результаты гистологического исследования образцов фарша из котлетного мяса на основе говядины до (*a*, *б*) и после (*в*) внесения КСПД

В контрольном образце хорошо видимы идентифицированные жировая ткань в виде жировых капель и фрагменты плотной соединительной ткани, неоднородность структуры, в то время как в опытном образце установлена однородность измельченных тканей.

В результате доказано, что коллагенсодержащая пищевая добавка имеет высокую селективность биомодификации, отличается глубиной проникновения в фаршевую систему и при производстве мясных фаршей из мяса птицы механической обвалки и из котлетного мяса с повышенным содержанием соединительной ткани позволяет получить продукт с высокими значениями органолептической и биологической ценности. Достоверных различий в органолептической оценке образцов не выявлено. Предложенная технология позволяет использовать кожу цыплят-бройлеров, вторичные продукты переработки рыбы и способствует рациональному использованию сырья, снижая нагрузку на окружающую среду.

4.2 Разработка рецептуры и технологии мясной продукции с коллагенсодержащей пищевой добавкой и ее оценка

На данном этапе ставилась задача получения и исследования мясного рубленого полуфабриката с использованием коллагенсодержащей добавки и оценки его качества.

Мясной полуфабрикат представляет собой мясной продукт, изготовленный из мяса на кости или бескостного мяса в виде кусков или фарша, с добавлением немясных ингредиентов или без них, требующий перед употреблением тепловой обработки до кулинарной готовности, с массовой долей мясных ингредиентов более 60,0 %.

Объектом исследования является мясной полуфабрикат категории А, представляющий собой мясной рубленый полуфабрикат с массовой долей мышечной ткани в рецептуре более 80,0 %.

Классическая технология изготовления мясного фарша состоит из следующих взаимосвязанных действий: жиловка мяса, т. е. очистка мяса от кости и жил, измельчение в куттере в две ступени (на первом этапе мясо измельчается на куски 16–20 мм, на втором – пропускается через режущие диски с диаметром 3 мм). После измельчения в фарш добавляют дополнительные вкусоароматические ингредиенты согласно рецептуре. Затем производится фасовка, запекание, охлаждение готового продукта и его упаковка в потребительскую тару.

Разработана рецептура и технология мясного фарша с добавлением коллагенсодержащей пищевой добавки.

Для производства мясного говяжьего фарша использовали котлетное мясо из говядины жилованной II сорта с содержанием мышечной ткани 81,6 %, которое получили путем разделки, обвалки и жиловки говяжьих отрубов, с добавлением соединительной ткани в количестве 4,0 %, оставшейся после жиловки отрубов, затем вносили коллагенсодержащую добавку в количестве 0,5 кг и подвергали куттерованию в течение 5 мин, дополнительно вносили лед в количестве 5 кг для стабилизации функционально-технологических свойств фаршевой системы и достижения температуры готового фарша 12–15 °С.

Количество коллагенсодержащей пищевой добавки составляло 0,5 кг, что обусловлено свойствами добавки в большем количестве придавать легкий рыбный запах фаршу; меньшее количество посчитали нецелесообразным с технологической точки зрения и ввиду отсутствия заметного изменения качественных характеристик изготавливаемого фарша.

Разработанная технология производства фарша с коллагенсодержащей пищевой добавкой представлена на рисунке 29.



Рисунок 29 – Схема изготовления фарша с коллагенсодержащей пищевой добавкой

Технологическая схема говяжьего фарша с коллагенсодержащей добавкой в рамках определения подсистем состоит из следующих блоков:

- блок С1 – подготовка рецептурных компонентов: котлетное мясо на основе говядины промывают проточной водой;
- блок С2 – перемешивание до равномерного распределения компонентов (регидратация сухой коллагенсодержащей добавки до влажности $(86 \pm 1) \%$);
- блок В – измельчение, перемешивание и выбивание. Котлетное мясо из говядины вместе с ферментализатом (10 % от массы мяса) измельчают на механическом измельчительном оборудовании с диаметром ячеек решетки 3–4 мм, тщательно перемешивают, выбивают;
- блок А – дозирование, фасовка, упаковка и хранение при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в течение 12 ч.

Классическая технология производства фарша на стадии подготовки наполнителей включает внесение коллагенсодержащей пищевой добавки.

Исследования качества проведены по ГОСТ Р 55365-2012 «Фарш мясной. Технические условия», результаты представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Органолептические и физико-химические исследования образцов фарша из котлетного мяса на основе говядины с коллагенсодержащей пищевой добавкой

Показатель	Норма	Контрольный образец	Опытный образец
Внешний вид	—		
		Однородная мясная масса без костей, хрящей, сухожилий, грубой соединительной ткани, кровяных сгустков и пленок	
Степень измельчения, мм	Не более 8,0	8,0	8,0
Цвет	—	Розово-красный	От светло-розового до красного
Запах	—	Свойственный, без посторонних запахов	
Массовая доля белка для говяжьего фарша, %	Не менее 16,0	19,2	20,4
Массовая доля жира для говяжьего фарша, %	Не более 15,0	14,1	13,5
Температура в толще охлажденного продукта, °С	От 0 до 6	2	2

По органолептическим и физико-химическим показателям опытный образец соответствует требованиям ГОСТ. Значительных различий в нормируемых органолептических показателях не установлено. Опытный образец отличается по показателю консистенции, которая отличается некоторой вязкостью. Имеются различия в показателях массовой доли белка и жира: опытный образец отличается повышенным содержанием белка ($p \leq 0,05$) и меньшим содержанием жира ($p \leq 0,05$).

На следующем этапе задачей явилось изучение физико-химических показателей и свойств, которые проявляют фарши в процессе технологической обработки. Физико-химические показатели представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Физико-химические показатели мясного фарша из котлетного мяса на основе говядины

Образец	Массовая доля, %			
	влаги	белка	жира	зола
Фарш из котлетного мяса на основе говядины	$65,3 \pm 1,2$	$19,2 \pm 0,4$	$14,1 \pm 1,1$	$1,4 \pm 0,01$
Фарш из котлетного мяса на основе говядины с коллагенсодержащей пищевой добавкой	$64,7 \pm 1,3$	$20,4 \pm 0,4$	$13,5 \pm 1,0$	$1,4 \pm 0,01$

Таким образом, статистически различия подтвердились по таким показателям, как массовая доля белка и массовая доля жира; по содержанию влаги, которая несколько снизилась в контрольном образце, и содержанию минеральных веществ различий нет или они статистически недостоверны.

В производстве изделий из рубленого мяса большое значение имеет состояние влаги в фарше, т. е. количество влаги, удерживаемой фаршем, и формы ее связи с составными частями фарша. Состояние влаги в фарше можно представить следующей динамической схемой: влага прочносвязанная $\leftrightarrow$ влага слабосвязанная $\leftrightarrow$ влага слабосвязанная избыточная. В этой схеме прочносвязанная влага представляет собой в основном адсорбционную влагу; слабосвязанная влага обеспечивает оптимальную сочность и консистенцию продукта; слабосвязанная избыточная отделяется при тепловой обработке продукта. Готовый продукт, содержащий ровно столько воды, сколько необходимо для покрытия его способности удерживать прочно- и слабосвязанную влагу, имеет оптимальные структурно-механические свойства. При таком же содержании воды возрастание доли прочносвязанной влаги в фарше приводит к увеличению его твердообразных свойств. Наоборот, уменьшение ее доли приводит к сдвигу равновесия и отделению избыточной влаги при тепловой обработке, т. е. к браку и уменьшению выхода продукта [64; 69].

В связи с тем, что в производстве мясных рубленых изделий большое практическое значение имеет количество влаги, удерживаемое мясной системой, а также формы ее связи с составными частями фарша, далее исследовали зависимость влагосвязывающей способности и влажности модельных фаршей от содержания в них коллагенсодержащей добавки. Результаты представлены в таблице 34.

Таблица 34 – Содержание влаги, ВСС и ВУС модельного фарша и полуфабриката «Фарш говяжий с коллагенсодержащей пищевой добавкой»

Образец	Массовая доля влаги, %	ВСС, %	ВУС, % (В-ВСС)
Модельный фарш			
Без добавления коллагенсодержащей пищевой добавки	65,0 ± 1,1	74,3 ± 1,3	55,1 ± 0,5
С добавлением коллагенсодержащей добавки	64,1 ± 1,0	77,5 ± 1,3	62,4 ± 0,5
Мясной фарш из котлетного мяса на основе говядины			
Без добавления коллагенсодержащей пищевой добавки	65,3 ± 1,2	78,5 ± 1,3	69,4 ± 0,5
С коллагенсодержащей пищевой добавкой	64,7 ± 1,3	81,3 ± 1,3	75,3 ± 0,5

Таким образом, анализ указывает на отсутствие достоверных различий в содержании влаги в модельных образцах фаршей и на увеличение ВСС в модельных фаршах и полуфабрикатах, причем наблюдается тенденция увеличения данного показателя в фаршах с использованием коллагенсодержащей добавки, что объясняется модификацией коллагеновых белков добавки в процессе ферментативного протеолиза, в результате которого происходит высвобождение гидрофильных групп, способных связывать и удерживать воду, а также введением в рецептуру фарша муки, незначительного количества перца, что может способствовать удержанию влаги.

Доказано экспериментально, что КСПД отличается глубиной проникновения в фаршевую систему и при производстве позволяет получить продукт с высокими органолептическими, физико-химическими и структурно-механическими показателями.

Разработанная пищевая добавка представляет собой концентрированный источник коллагена, содержание которого составляет 64,0 %. В связи с этим

научно-практический интерес представляло изучение ее влияния на белковую составляющую фарша. Представлены результаты исследования влияния КСПД на мясные фарши в качестве белкового наполнителя. Исследовали белковый компонент, определяя содержание общего белка, в том числе растворимого, содержание связанного оксипролина, аминокислотный состав на аминокислотном анализаторе методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с предколоночной дериватизацией агентами ОРА и FМОС и биологическую ценность фарша с помощью формализованных показателей расчетным путем по [71].

На первом этапе было проведено исследование массового распределения белковых фрагментов в фарше. Результаты представлены в таблице 35.

Таблица 35 – Распределение белковых фрагментов в фарше

Показатель	Контрольный образец	Опытный образец
Содержание общего белка, %	17,2	19,4
Содержание растворимого белка, %	1,4	2,2
Содержание растворимого белка / Содержание общего белка $\times 100$ %	8,1	11,3
Содержание связанного оксипролина, мг%	65,1	52,2
Содержание аминного азота в мясном фильтрате, мг%	71,7	88,6

Установлено влияние внесения КСПД в мясной фарш, выражающееся в увеличении содержания общего белка (+2,2 %) и растворимого белка (+0,8 %), уменьшении связанного оксипролина (–19,8 %) и увеличении аминного азота в мясном фильтрате (+24,0 %). Результаты показывают активное действие КСПД, о чем свидетельствует количество перешедшего в фильтрат белка – 13,1 %, характеризующее расщепление мышечных белков мяса. По уменьшению оксипролина сделали вывод о расщеплении соединительнотканых белков. Увеличение аминного азота свидетельствует о глубине воздействия КСПД на соединительные элементы тканей фарша. Оценка органолептических показателей и микроструктуры мясных фаршей показала существенные изменения мышечной ткани, что связано

с ее модификацией под действием КСПД и остаточного количества фермента протеазы.

На следующем этапе определяли количественные и качественные показатели биологической составляющей контрольного и опытного образцов фаршей. В таблице 36 представлен аминокислотный состав белков образцов фаршей.

Таблица 36 – Аминокислотный профиль белка исследуемых образцов

Аминокислота	Контрольный образец		Опытный образец	
	Количество, мг/100 г	Доля, %	Количество, мг/100 г	Доля, %
Незаменимые аминокислоты				
Изолейцин	744,75 ± 57,40	4,4	795,50 ± 55,21	4,00
Лейцин	1591,06 ± 22,02	9,4	2167,81 ± 20,08	10,79
Лизин	1421,78 ± 46,23	8,4	1972,94 ± 47,01	9,82
Метионин	406,23 ± 22,37	2,4	406,78 ± 23,05	2,00
Цистин	186,19 ± 12,91	1,1	203,11 ± 10,56	1,10
Фенилаланин	761,68 ± 9,02	4,5	762,23 ± 10,81	3,80
Тирозин	490,86 ± 15,45	2,9	524,71 ± 17,44	2,60
Треонин	778,59 ± 93,91	4,6	812,45 ± 89,56	4,00
Валин	964,79 ± 60,88	5,7	963,18 ± 60,81	4,80
<i>Сумма незаменимых аминокислот</i>	7345,93 ± 340,19	43,4	8619,04 ± 334,53	42,90
Заменимые аминокислоты				
Аспаргиновая	1739,74 ± 40,88	10,3	1843,16 ± 44,51	9,17
Серин	561,29 ± 80,73	3,3	617,21 ± 81,33	3,07
Глутаминовая	2582,25 ± 237,65	15,3	2614,13 ± 215,98	13,01
Глицин	1221,26 ± 144,33	7,2	1596,51 ± 140,35	7,95
Аланин	1121,65 ± 31,59	6,6	1154,29 ± 35,11	5,70
Гистидин	581,93 ± 52,36	3,4	672,12 ± 54,01	3,40
Аргинин	1051,66 ± 71,12	6,2	996,89 ± 70,05	4,96
Пролин	720,34 ± 63,69	4,3	1977,65 ± 66,11	9,84
<i>Сумма заменимых аминокислот</i>	9580,12 ± 836,84	56,6	11471,96 ± 707,45	57,10
Общая сумма	16926,05 ± 770,07	100,0	20 091,00	100,00

Образцы отличались достаточно высоким содержанием аминокислот, что, по нашему мнению, связано с качеством используемой для приготовления фарша говядины, добавление соединительной ткани способствовало повышению количества заменимых аминокислот. В белках образцов фарша было идентифицировано 17 аминокислот. По сумме незаменимых аминокислот образцы превышали эталонный показатель ФАО/ВОЗ на 7–8 %.

Характеристика биологической ценности образцов представлена в таблице 37.

Таблица 37 – Сводная матрица незаменимых аминокислот с расчетом их биологической ценности

Показатель		Контрольный образец	Опытный образец
Аминокислота, %	Валин	5,7	4,80
	Изолейцин	4,4	4,00
	Лейцин	9,4	10,79
	Лизин	8,4	9,82
	Метионин + цистин	3,5	3,10
	Треонин	4,6	4,00
	Фенилаланин + тирозин	7,4	6,40
Сумма незаменимых аминокислот, %		43,4	42,9
Аминокислотный скор, %		124,0	123,0
Лимитирующая аминокислота, скор, %		Нет	Валин (96 %), метионин + цистин (89 %)
Соотношение незаменимых и заменимых аминокислот (0,56–0,67 [123])		0,77	0,75
Соотношение метионина и изолейцина (0,60 по [123])		0,55	0,51
Биологическая ценность		78,67	70,91
Коэффициент различия аминокислотного сора (КРАС), %		21,33	29,09
Коэффициент утилитарности аминокислоты		0,31	0,72
Коэффициент сопоставимой избыточности		0,084	0,130

Установлено, что соотношение метионина и изолейцина согласуется с литературными данными – 0,60 по [123] о постоянстве этого соотношения. В идеаль-

ной пропорции находится сумма аминокислот метионин + цистин, для остальных аминокислот скор превышает 100 %, лимитирующих аминокислот в контрольном образце не установлено. Аминокислотный состав показывает относительно высокое содержание изолейцина, лейцина, лизина, валина, разветвленность цепей которых повышает ценность белка. Выявлено, что, несмотря на некоторое снижение содержания незаменимых аминокислот, опытные образцы с КСПД превосходят контрольный образец по содержанию лейцина, лизина в абсолютных показателях, однако имеют лимитирующие аминокислоты. В белковой системе фаршей показатель КРАС и коэффициент сопоставимой избыточности имеют достаточно низкие значения, в то время как величина биологической ценности и коэффициента утилитарности аминокислотного состава отличаются высокими значениями. Отмечены также изменения в профиле незаменимых аминокислот в опытном образце, связанные с их трансформацией в результате воздействия КСПД.

Традиционно при анализе биологической ценности акцент делается на количество и качество незаменимых аминокислот. При разработке КСПД в качестве рабочей гипотезы выдвигалось ее воздействие именно на содержание заменимых аминокислот, которые, выполняя различные функции в организме, имеют значение не меньшее, чем незаменимые аминокислоты. В связи с этим на следующем этапе анализировали аминокислотный профиль заменимых аминокислот (таблица 38).

Анализ показывает относительно высокое содержание таких аминокислот, как аспарагиновая, глутаминовая, глицин, аргинин, аланин, пролин, и их увеличение в абсолютных показателях в опытном образце, что связано с влиянием КСПД и характерно для деградированного коллагена. Профиль заменимых аминокислот представлен на рисунке 30.

Аланин является основным компонентом соединительной ткани, его увеличение вполне обосновано в опытном образце. Обращает на себя внимание высокое содержание в образцах глутаминовой кислоты, роль которой заключается прежде всего в участии в процессах детоксикации ксенобиотиков, защиты от оксидантов организма.

Таблица 38 – Профиль заменимых аминокислот исследуемых фаршей

Аминокислота	Контрольный образец		Опытный образец	
	Количество, мг/100 г	% к общей сумме аминокислот	Количество, мг/100 г	% к общей сумме аминокислот
Аспарагиновая	1 739,74	10,3	1 843,16	9,17
Серин	561,29	3,3	617,21	3,07
Глутаминовая	2 582,25	15,3	2 614,13	13,01
Глицин	1 221,26	7,2	1 596,51	7,95
Аланин	1 121,65	6,6	1 154,29	5,70
Гистидин	581,93	3,4	672,12	3,40
Аргинин	1 051,66	6,2	996,89	4,96
Пролин	720,34	4,3	1 977,65	9,84
<i>Сумма заменимых аминокислот</i>	9 580,12	56,6	11 471,96	57,10

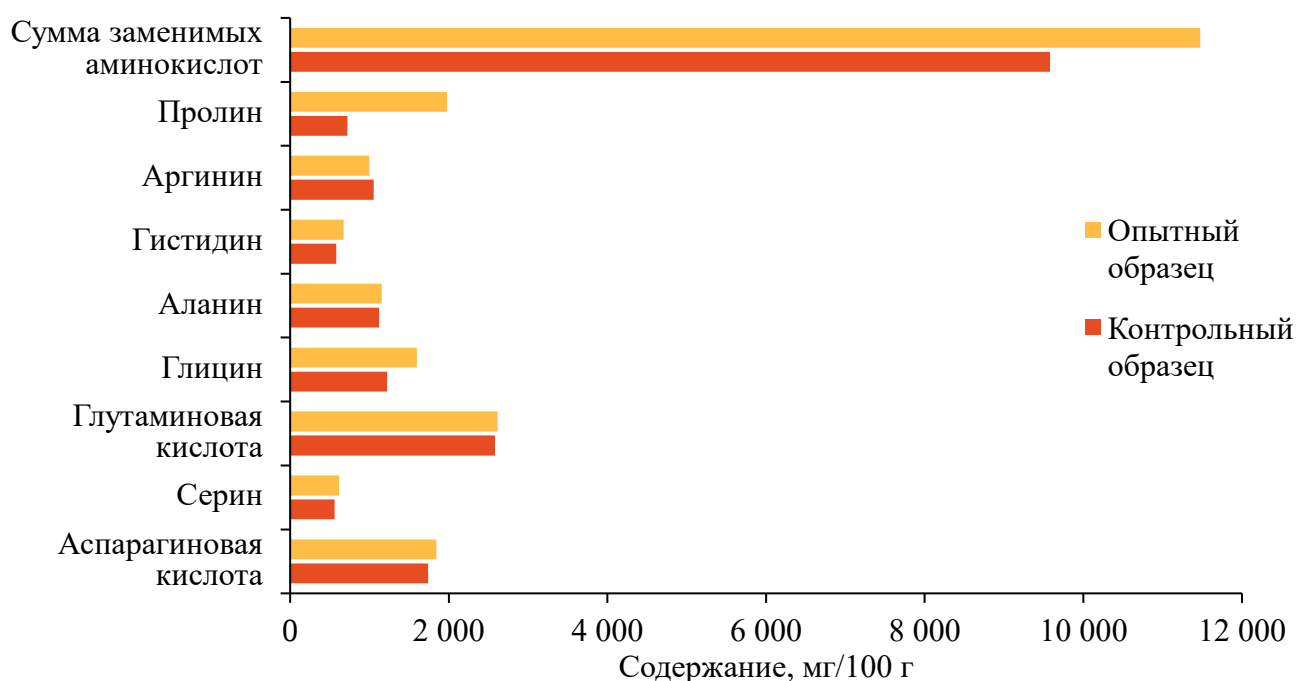


Рисунок 30 – Профиль заменимых аминокислот исследуемых фаршей

Кроме того, глутаминовая кислота является единственной кислотой, которая поддерживает дыхание клеток головного мозга. Нормальное содержание этой кислоты в рационе человека составляет 13–16 г/сут [118]; в наших исследованиях – более 2 г, чуть менее 10 % от нормы рекомендуемого суточного потребления. Некоторое увеличение содержания глутаминовой кислоты указывает на накопление

предшественников вкуса и аромата после внесения КСПД, что способствует улучшению органолептических показателей готового продукта. В опытном образце установлено увеличение в абсолютных и относительных показателях глицина в 1,3 раза и пролина в 2,7 раза. Глицин участвует в транспорте кислорода в крови, построении белков, биосинтезе многих активных соединений. Пролин, следующая по количественному содержанию заменимая аминокислота в наших исследованиях, важен для формирования структурной организации белков, играет значимую роль в восстановлении тканей, обновлении клеток и регенерации при воспалении костей и хрящей, а также защищает от разрушения суставов и коллагена, увеличивает физическую работоспособность и укрепляет сердечную мышцу [118; 111].

Общеизвестно, что заменимые аминокислоты синтезируются в организме человека, однако нет убедительных доказательств того, что они синтезируются в достаточных количествах, и наши исследования показали необходимость изучения состава и взаимодействия заменимых аминокислот при составлении белкового модуля разрабатываемых продуктов.

4.3 Разработка рецептуры и товароведная оценка паштета с коллагенсодержащей добавкой

Мясной паштет – готовый к употреблению продукт, используемый для изготовления бутербродов и других видов закусочных блюд. Он может быть альтернативой мясной продукции в связи с изменениями стиля и темпа жизни населения, что приводит к тому, что времени на приготовление пищи остается все меньше. Паштетная масса выступает полуфабрикатом в технологии приготовления различных блюд на предприятиях общественного питания (например, в качестве начинки для мучных изделий).

Анализ литературных данных и нормативных документов показал, что каких-либо жестких требований при составлении рецептур паштетов не существует. Установлено, что, как правило, в производстве используют субпродукты, мясную обрезь, коллагенсодержащее сырье, получаемое при обвалке и жиловке мяса, жир для придания фаршу мажущейся консистенции, а также вещества, обеспечивающие необходимую вязкость [29]; кроме того, для придания сочности предусмотрено использование бульона в количестве от 20 дм³. Разработанная автором рецептура мясной паштетной массы с добавлением коллагенсодержащей пищевой добавки, которая согласуется с представлениями о составе паштетов в современный период, характеризующимися широким вовлечением в технологию белковых препаратов, коллагенсодержащего сырья и др., представлена в таблице 39.

Таблица 39 – Рецептура коллагенсодержащего мясного паштета

Ингредиент	Масса, кг
Говяжий фарш и фарш мяса птицы механической обвалки (75:15)	90,0
Поваренная соль	1,8
Бульон	6,0
Коллагенсодержащая пищевая добавка	0,3

При составлении рецептурной композиции соблюдали следующий принцип: содержание мяса должно быть не менее 60 %, так как именно такие требования предъявляются к содержанию мясных ингредиентов в мясных продуктах по ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции». Одновременно решали задачу сохранения и повышения биологической ценности белкового компонента, характеризующего функциональные свойства продукта.

Образцы паштета с добавлением в рецептуру коллагенсодержащей пищевой добавки, представлены на рисунке 31.



Рисунок 31 – Образцы паштета

Модернизирована технология производства паштета с коллагенсодержащей пищевой добавкой, которая представлена на рисунке 32. Использована классическая технология производства паштета, но на стадии обработки на эмульситаторе вносится коллагенсодержащая пищевая добавка. Разработанная технология адаптирована к технологическому процессу и оборудованию, установленному на действующих предприятиях мясной промышленности и общественного питания, и не требует дополнительных затрат.

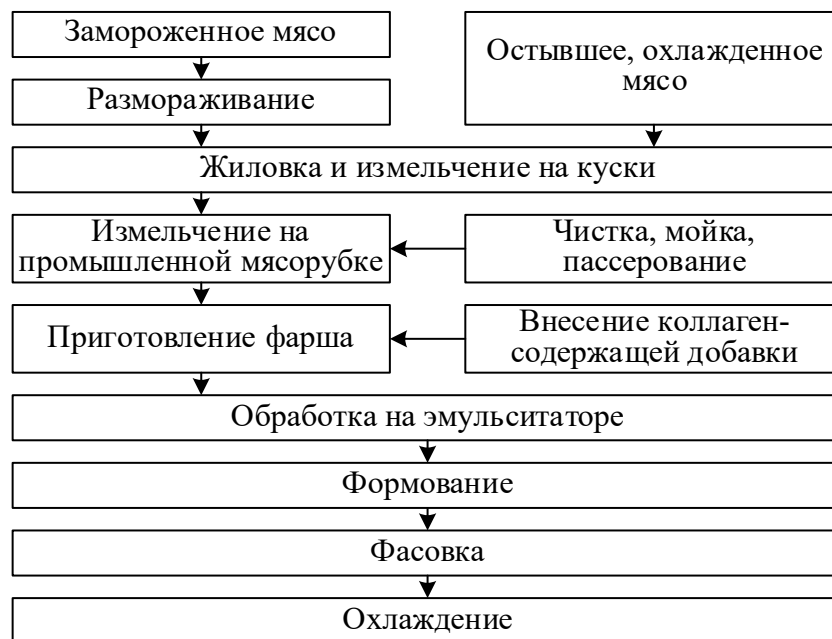


Рисунок 32 – Схема изготовления паштета с коллагенсодержащей пищевой добавкой

Проведены органолептические и физико-химические исследования паштета, изготовленного из фарша говяжьего и мяса птицы механической обвалки (контрольный образец) и паштета из фарша говяжьего и мяса птицы механической обвалки с рецептурными ингредиентами с добавлением коллагенсодержащей пищевой добавки (опытный образец) по ГОСТ Р 55334-2012 «Паштеты мясные и мясo-содержащие. Технические условия». Результаты органолептической оценки и физико-химических исследований представлены в таблице 40.

Таблица 40 – Органолептическая оценка и физико-химические показатели образца паштета

Показатель	Контрольный образец	Опытный образец
Внешний вид		
Консистенция	Нежная, мажущаяся	
Вид на разрезе	Однородная, равномерно перемешанная масса серого цвета	
Запах и вкус	Свойственные данному виду продукта, в меру выраженный мясной, соленый, без посторонних привкуса и запаха	
Массовая доля белка для паштета, % (не менее 10,0)	18,9	20,3
Массовая доля жира для паштета, % (не более 19,0)	12,6	10,8
Массовая доля хлористого натрия для паштета, % (не более 1,4)	1,2	1,2

Содержание жира в исследуемых образцах является умеренным для сбалансированного рациона. Бульон в рецептуре паштета содержит достаточное количество влаги, обеспечивая мягкость, нежность и легкость употребления.

Определяли аминокислотный состав исследуемых паштетов, характеристика представлена в таблице 41.

Таблица 41 – Характеристика аминокислотного профиля паштетов

Показатель белкового компонента	Контрольный образец	Опытный образец
Общая сумма аминокислот, мг/100 г белка	18 218,56	20 305,23
Содержание незаменимых аминокислот в продукте, мг/100 г белка	9 251,73	10 306,53
Содержание заменимых аминокислот в продукте, мг/100 г белка	8 966,83	9 998,70
Аминокислотный скор, %	141,40	141,50
Коэффициент разбалансированности аминокислотного состава (КРАС)	48,60	38,37
Биологическая ценность исследуемого белка, %	51,40	51,63
Коэффициент утилитарности аминокислоты (метионин + цистин)	0,62	0,62
Показатель сопоставимой избыточности	0,22	0,21

Исследованиями установлены достаточно высокие значения биологической ценности и коэффициента утилитарности аминокислотного состава, отмечено влияние коллагенсодержащей пищевой добавки на биологическую ценность паштета в части увеличения как незаменимых, так и заменимых аминокислот. Лимитирующих аминокислот не выявлено, в отличие от мясного фарша. В результате исследований показано, что при производстве паштетов можно сохранить качество белкового компонента.

В научной и производственной практике известны способы повышения протеолитической активности мясных пищевых систем, сохраняющие качество и безопасность продукта, с помощью обработки продукции ультразвуком, электрическим полем, высоким и сверхвысоким давлением, а также CO_2 [106].

Помимо предложенных методов, можно воздействовать органическими соединениями для лучшего проникновения в мясные пищевые системы активных веществ и соединений, направленных на качественные характеристики продукта, улучшение вкуса, улучшение текстуры, активация фермента.

В готовую паштетную массу был добавлен кофермент пиридоксаль-5-фосфат для синергетического воздействия с коллагеновой пищевой добавкой в составе паштетной массы. Пиридоксаль-5-фосфат является активной формой витамина B_6 и коферментом для многих ферментных реакций, включая те, которые связаны с аминокислотами и белками. Производится в форме мелкодисперсного порошка белого цвета. Оценка оптимальной дозировки для введения в паштетную массу приведена в таблице 42.

Исходя из данных, полученных по результатам органолептического исследования качества паштетной массы, выявлено, что по визуальным и вкусовым характеристикам для применения пригодна дозировка 2,5 мг/кг, обеспечивающая сохранность качества продукции без нежелательных включений. Повышение дозировки до 5 мг/кг и более оказывает негативное влияние на продукт, разжижая текстуру, и приводит к изменению структуры продукта, изменяя консистенцию паштета на более рыхлую.

Таблица 42 – Органолептическая оценка влияния дозировки пиридоксаль-5-фосфата на качество пащтетной массы

Показатель	Дозировка на 1 кг паштета, мг		
	2,5	5	10
Внешний вид	Поверхность без повреждений, пятен и слипов	Поверхность без повреждений, пятен и слипов, присутствуют небольшие вкрапления от вводимого кофермента	Поверхность без повреждений, пятен и слипов, присутствуют визуально заметные белые вкрапления от вводимого кофермента
Консистенция	Нежная, мажущаяся	Нежная, мажущаяся	Текстура массы шершавая, слабо мажущаяся консистенция
Вкус и запах	Свойственные данному виду продукта, без посторонних привкуса и запаха	Свойственные данному виду продукта, в меру соленый привкус	Свойственные данному виду продукта, с горьковато-соленым привкусом

Для оценки физико-химических свойств при воздействии пиридоксаль-5-фосфата на пащтетную массу были проведены дополнительные исследования только для опытного образца с содержанием 2,5 мг действующего вещества. Результаты исследования представлены в таблице 43.

Таблица 43 – Физико-химические исследования оценки влияния пиридоксаль-5-фосфата на качество пащтетной массы

Показатель	Значение для опытного образца паштета, %
Массовая доля белка для говяжьего паштета	23,5
Массовая доля жира для говяжьего паштета	8,4
Массовая доля хлористого натрия для говяжьего паштета	8,5

Проведенные исследования доказывают, что введение 2,5 мг пиридоксаль-5-фосфата положительно сказывается на увеличении количества массовой доли белка в говяьем пащтете на 3,2 %, массовая доля жира сокращается на 2,4 %, массовая доля хлористого натрия сокращается на 1,3 % по сравнению с опытным образцом говяжьего паштета с коллагенсодержащей пищевой добавкой.

Это позволяет предположить, что добавление биологически активных веществ может сочетаться с коллагенсодержащей пищевой добавкой и другими ингредиентами паштетной массы и положительно влиять на свойства конечного продукта. Литературные данные [89; 124; 180] подтверждают, что благодаря введению в рецептуру пиридоксаль-5-фосфата повышается степень гидролиза белков, т. е. ускоряется протеолиз, увеличивая распад белков на аминокислоты, что обуславливает более мягкую текстуру усвояемости продукта. Повышение уровня аминокислот, таких как глутаминовая кислота, может усилить вкус продукта.

4.4 Определение срока годности и режима хранения для готовой продукции

Полуфабрикат мясной «Фарш говяжий с коллагенсодержащей пищевой добавкой» может вырабатываться как в охлажденном, так и в мороженом виде. Срок годности полуфабриката «Фарш говяжий с коллагенсодержащей пищевой добавкой» в мороженом состоянии составляет до 90 сут с момента изготовления при условии правильного хранения. Полуфабрикат должен храниться при температуре не выше минус 18 °С и иметь такую же температуру в толще мясной массы. Кроме того, необходимо обеспечить защиту продукта от прямой солнечной экспозиции и воздействия агрессивных запахов. Соблюдение этих параметров и условий хранения обеспечивает безопасность, качество и срок годности полуфабриката.

Согласно ГОСТ Р 55334-2012 «Паштеты мясные и мясосодержащие. Технические условия», для паштета с коллагенсодержащей пищевой добавкой устанавливаются следующие параметры относительно срока годности, режима хранения и регламентируемых показателей качества. Срок годности паштета составляет 45 сут с момента изготовления при условии правильного хранения. Паштет должен храниться при температуре от 0 °С до 6 °С. Срок хранения после вскрытия

упаковки – 24 ч. Также необходимо обеспечить защиту продукта от воздействия солнечных лучей и агрессивных запахов.

Для установления сроков годности определяли микробиологические показатели опытного образца паштета (таблица 44).

Таблица 44 – Микробиологические показатели безопасности опытного образца паштета

Показатель	Требования ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»	Продолжительность хранения, сут		
		30	45	60
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $1 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$
БГКП	Не допускаются в 0,0001 г продукта	Не обнаружены		$2,9 \cdot 10^2$
Бактерии рода сальмонелл	Не допускаются в 25 г продукта	Не обнаружены		
<i>Listeria monocytogenes</i>	Не допускаются в 25 г продукта	Не обнаружены		

Таким образом, с учетом коэффициента резерва для определения сроков годности пищевых продуктов (МУК 4.2.1847-04) рекомендуемый срок хранения разработанных мясных паштетов с коллагенсодержащей пищевой добавкой составляет 45 сут с даты изготовления.

Соблюдение параметров и условий хранения обеспечивает безопасность, качество и срок годности паштетов.

4.5 Расчет технико-экономических показателей производства коллагенсодержащей пищевой добавки

Для производства КСПД предлагается обработка вторичных ресурсов рыбного сырья и получение ферментолизата непосредственно на предприятии по переработке рыбы, находящемся в городе Березовском Свердловской области. Для

выделения протеазы и получения ферментолизата необходимо приобретение оборудования – вакуумного массажера GRZK50, фильтрационных установок с лимитом пропускания 50 и 23 кДа и выделение не менее 1,5 м² для его установки. При расчете себестоимости затрат на производство 100 кг коллагенсодержащей пищевой добавки были учтены затраты на оплату труда персонала на рыбном производстве, в которые также включаются затраты на холодильное хранение и логистику.

Полученная суспензия отправляется на предприятие птицеперерабатывающей отрасли в ПГТ Рефтинский Свердловской области, где осуществляется соединение подготовленной кожи цыплят-бройлеров с ферментолизатом и получение КСПД в виде суспензии; на этом этапе к себестоимости прибавляются затраты на оплату труда и логистику. Для производства КСПД используется имеющееся на предприятии оборудование, дополнительные затраты не требуются.

При производстве КСПД в виде сухого порошка к себестоимости на птицеперерабатывающем производстве прибавляются затраты на оплату труда сотрудников и затраты на оборудование в виде приобретения ИК-сушки, упаковочного оборудования и упаковочных материалов полимерных фольгированных пакетов с зиплоком.

Расчет стоимости сырья, необходимого для производства 100 кг коллагенсодержащей пищевой добавки, приведен в таблице 45.

Таблица 45 – Расчет стоимости сырья, необходимого для производства 100 кг коллагенсодержащей пищевой добавки

Наименование сырья	Расход сырья на 1 кг готовой продукции, кг	Цена за 1 кг, р.	Стоимость сырья, р.
Кожа цыплят-бройлеров	99,5	45,00	4 477,50
Ферментолизат	0,5	200,00	100,00
Итого	—	245,00	4 577,50

В таблице 46 представлены калькуляция затрат и расчет технико-экономических показателей производства 1 т коллагенсодержащей пищевой добавки.

Таблица 46 – Калькуляция затрат и расчет технико-экономических показателей производства коллагенсодержащей пищевой добавки

Показатель	Затраты на 100 кг готовой продукции
Основное и дополнительное сырье, р.	4 577,50
Транспортно-заготовительные расходы, р.	100,40
Заработная плата основного персонала, р.	1 451,30
Отчисления на социальное страхование, р.	319,29
Амортизационные издержки, р.	250,00
Накладные расходы, р.	445,80
Полная себестоимость, р.	7 144,29
Прибыль, р.	2 014,76
Рентабельность, %	28,30
Отпускная цена, р.	9 134,05
Цена за 1 кг, р.	91,34

Таким образом, расчеты показывают, что 1 кг КСПД для производителей мясной продукции, в частности фаршевых изделий, обойдется в 91 р. 34 к. Исходя из того, что при производстве 100 кг мясного фарша расходуется 500 г КСПД, стоимость фарша увеличится на 45 р. 67 к.

Следует отметить, что вовлечение в производство соединительной ткани сокращает количество образующихся вторичных ресурсов и снижает нагрузку производства на экологию региона, что в совокупности делает экономически целесообразным применение КСПД в технологии мясных пищевых систем.

Заключение по главе 4

В качестве исходной системы для практических исследований были выбраны мясной фарш из говядины и из мяса птицы механической обвалки. Были изготовлены модельные фарши: контрольный и опытный образцы с использованием коллагенсодержащей пищевой добавкой, в которых определяли влияние КСПД на

органолептические показатели, микроструктуру и функционально-технологические свойства.

Установлено, что введение коллагенсодержащей добавки не оказало существенного влияния на такие органолептические показатели, как внешний вид, цвет и запах, однако в ходе органолептических исследований отмечено изменение консистенции, что связано с трансформацией белков, при сохранении внешнего вида и упруго-пластичных свойств.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что использование коллагенсодержащей пищевой добавки способствует повышению функционально-технологических свойств мясных систем: повышается водосвязывающая, влагоудерживающая и жирудерживающая способность мясных фаршей, что обеспечивает однородность структуры и стабильность эмульсии, сохраняя при этом внешний вид, цвет и запах продукта.

По совокупности органолептических и микроструктурных показателей доказано, что коллагенсодержащая пищевая добавка имеет высокую селективность биомодификации, отличается глубиной проникновения в фаршевую систему и при производстве мясных фаршей из мяса птицы механической обвалки и из котлетного мяса с повышенным содержанием соединительной ткани позволяет получить продукт с высокими показателями органолептической и биологической ценности.

Разработана рецептура и технология мясного полуфабриката «Фарш говяжий с коллагенсодержащей пищевой добавкой». Для производства использовали котлетное мясо из говядины жилованной II сорта с добавлением в количестве 4,0 % соединительной ткани, оставшейся после жиловки отрубов. Экспериментально обосновано внесение КСПД в количестве 0,5 кг. Использовалась классическая технология изготовления, отличающаяся внесением КСПД на стадии куттерования.

Оценка органолептических и физико-химических показателей указывает на соответствие требованиям ГОСТ. Значительных различий в нормируемых органолептических показателях не установлено. Различия наблюдались по массовым до-

лям белка и жира: опытный образец отличается повышенным содержанием белка и меньшим содержанием жира, что подтверждено статистически. Функционально-технологические свойства полуфабриката не имели отличий от аналогичных, определенных в исходной системе. Были проведены исследования влияния КСПД на мясной полуфабрикат в качестве белкового наполнителя. Результаты показали активное действие КСПД, о чем свидетельствует количество перешедшего в фильтрат белка – 13,1 %, характеризующее расщепление мышечных белков мяса. По уменьшению оксипролина сделали вывод о расщеплении соединительнотканых белков. Количественный и качественный анализ белковой составляющей мясного полуфабриката свидетельствует о высокой биологической ценности белка, влияние КСПД особенно заметно в части увеличения заменимых аминокислот.

Разработана рецептура и скорректирована технология мясного паштета с коллагенсодержащей пищевой добавкой. В состав паштета введены фарш говяжий и мясо птицы механической обвалки в соотношении 75:15; использовали бульон и поваренную соль. Оценка органолептических и физико-химических показателей, а также биологической ценности белкового компонента показала высокое качество паштета.

Экспериментально доказано, что введение пиридоксаль-5-фосфата, активной формы витамина В₆, дополнительно усиливает ферментативные процессы в паштетной массе, повышая гидролиз белков и улучшая текстуру продукта. В оптимальной дозировке (2,5 мг/кг) пиридоксаль-5-фосфат усиливает мягкость консистенции, улучшает усвояемость и при этом не вызывает нежелательных изменений в структуре паштета, что подтверждено органолептическими исследованиями. Более высокие дозировки (более 5 мг/кг) приводят к излишнему разжижению продукта и ухудшению его органолептических характеристик.

На основе изучения нормативных документов, определения микробиологических и органолептических показателей установлены рекомендуемые сроки годности для паштета. Полуфабрикат «Фарш говяжий с коллагенсодержащей пищевой добавкой» рекомендовано хранить в соответствии с термическим состоянием и соответствующими температурно-влажностными режимами по ГОСТ.

Расчеты технико-экономических показателей производства коллагенсодержащей пищевой добавки показывают, что стоимость 1 кг КСПД для производителей мясной продукции, в частности фаршевых изделий, составит 91 р. 34 к., а с учетом того, что при производстве 100 кг мясного фарша расходуется 500 г КСПД, стоимость фарша увеличится на 45 р. 67 к.

Следует отметить, что вовлечение в производство соединительной ткани сокращает количество образующихся вторичных ресурсов и снижает нагрузку производства на экологию региона, что в совокупности делает экономически целесообразным применение КСПД в технологии мясных пищевых систем.

Заключение

В результате проведенной работы были решены поставленные задачи, на основании чего сделаны следующие выводы.

1. Аналитический обзор научно-технических источников показал, что решение проблемы рационального использования сырья при производстве мясных продуктов, связанные с нехваткой основного сырья, использованием малоценных в пищевом отношении частей туш, образованием отходов, потерей ценных удаляемых тканей в процессе разделки, возможно при использовании коллагенсодержащих продуктов, в том числе пищевых добавок и ингредиентов.

2. Теоретически обосновано и подтверждено экспериментально использование вторичных ресурсов рыбного производства – чешуи, кожи, плавников рыбы для получения ферментолизата. Определены оптимальные технологические параметры, обеспечивающие активность ферментолизата: рН 7,0, гидромодуль 1:3, температура $(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$, время 2 ч 45 мин. Разработанный метод позволяет производить ферментолизат сопоставимый по своим характеристикам с коммерческими аналогами. Основное назначение – обработка низкосортного мясного сырья с высоким содержанием соединительной ткани и, как следствие, соединительнотканых белков.

3. Разработаны рецептура и технология коллагенсодержащей пищевой добавки. Установлено соотношение используемых компонентов – кожи цыплят-бройлеров и ферментолизата – в количестве 99,5:0,5. В готовом виде КСПД представляет собой сыпучий мелкий порошок, обеспечивая стойкость при хранении и расширяя сферу применения.

4. Полученная коллагенсодержащая пищевая добавка отличается высокими функционально-технологическими свойствами: влагосвязывающей, гелеобразующей и эмульгирующей способностью, имеющих значение в технологии мясных фаршей. Получены результаты положительного воздействия коллагенсодержащей пищевой добавки на органолептические показатели, микроструктуру

и биологическую ценность модельных мясных фаршей из говядины и мяса птицы механической обвалки.

5. Предложенная рецептура и технология производства мясного полуфабриката – фарша из котлетного мяса на основе говядины с повышенным содержанием соединительной ткани и мясного паштета из котлетного мяса на основе говядины и мяса птицы механической обвалки позволяет получить качественные продукты. Доказательной базой эффективности и перспективности использования КСПД в технологии мясных систем послужила совокупность органолептических и физико-химических показателей, а также высокие показатели качества белковой составляющей. Отмечено положительное влияние КСПД на биологическую ценность опытных образцов, особенно в части увеличения таких аминокислот, как лейцин, лизин, глутаминовая кислота и пролин.

Добавление к рецептуре паштета пиридоксаль-5-фосфата в количестве 2,5 мг/кг способствовало увеличению массовой доли белка на 3,2 % и сокращению массовой доли жира 2,4 % в сравнении с опытным образцом.

6. Проведена оценка экономической эффективности. Разработана нормативная документация.

Список сокращений и условных обозначений

БАВ – биологические активные вещества.

БЦ – биологическая ценность.

ВСС – влагосвязывающая способность.

ВУС – влагоудерживающая способность.

ГС – гелеобразующая способность.

ЖУС – жироудерживающая способность.

ЖЭС – жироземульгирующая способность.

КРАС – коэффициент разбалансированности аминокислотного состава.

КСПД – коллагенсодержащая пищевая добавка.

КСС – коллагенсодержащее сырье.

КУАС – коэффициент утилитарности аминокислотного состава.

Список литературы

1. Абрамов, Д. В. Технология натуральной композиции с сырным вкусом на основе направленного гидролиза белково-жирового субстрата / Д. В. Абрамов, Д. С. Мягконос, Е. Г. Овчинникова [и др.] // Современные тренды в производстве, потреблении и контроле сыра, масла и другой молочной продукции : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. (Углич, 18–20 июня 2024 г.). – Углич : ВНИИМС, 2024. – С. 119–121.
2. Агафонов, Е. А. Технологический процесс получения рыбных белковых гидролизатов как объект автоматизации / Е. А. Агафонов, Н. А. Долгий // Балтийский морской форум : материалы XI Междунар. Балтийского морского форума (Калининград, 25–30 сентября 2023 г.) : в 8 т. – Калининград : КГТУ, 2023. – Т. 6. – С. 221–225.
3. Агафонова, С. В. Биоконверсия и биокатализ в пищевой биотехнологии / С. В. Агафонова, Е. С. Землякова. – Калининград : КГТУ, 2022. – 75 с.
4. Акимова, Д. А. Влияние белково-минеральной добавки на качественные характеристики фаршевой системы мясных рубленых полуфабрикатов / Д. А. Акимова, А. К. Какимов, Ж. С. Есимбеков // Вестник университета Шакарима. Серия: Технические науки. – 2024. – № 1 (13). – С. 73–81.
5. Акимова, Д. А. Переработка малоценных субпродуктов птицеперерабатывающей промышленности на пищевые цели / Д. А. Акимова, А. К. Какимов, Ж. С. Есимбеков, Е. С. Жарыкбасов // Вестник университета Шакарима. Серия: Технические науки. – 2024. – № 2 (14). – С. 129–136.
6. Александров, Н. К. Научное обоснование технологических параметров и рецептуры белкового наполнителя из коллагенсодержащих отходов переработки карпа / Н. К. Александров, Д. Л. Альшевский // Известия КГТУ. – 2023. – № 71. – С. 73–83.
7. Александров, Н. К. Оценка перспектив использования коллагенсодержащего вторичного сырья карпа в пищевой промышленности / Н. К. Александров,

Д. Л. Альшевский, В. И. Устич // // Балтийский морской форум : материалы XI Междунар. Балтийского морского форума (Калининград, 25–30 сентября 2023 г.) : в 8 т. – Калининград : КГТУ, 2023. – Т. 5. – С. 2–6.

8. Алексеев, А. Л. Использование препаратов белка животного происхождения в технологии комбинированных мясных изделий / А. Л. Алексеев, Т. В. Алексеева // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК : материалы XII Междунар. науч.-практ. интернет-конф. (п. Правдинский Московской области, 8–10 июня 2020 г.). – п. Правдинский : Росинформагротех, 2020. – С. 614–617.

9. Аникеева, Н. В. Научные основы технологий белковых препаратов / Н. В. Аникеева // Нива Поволжья. – 2010. – № 3 (16). – С. 1–5.

10. Аникина, А. А. Технологические аспекты производства функциональных коллагенсодержащих биологически активных продуктов из водных биоресурсов / А. А. Аникина, А. И. Ванина, С. Ю. Пономаренко // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Владивосток, 26 ноября 2021 г.). – Владивосток : Дальрыбвтуз, 2022. – С. 144–148.

11. Антипова, Л. В. Белковые препараты на российском рынке: сравнительные свойства и применение в мясных системах / Л. В. Антипова, Л. Е. Мартемьянова, М. М. Данылиев, И. Н. Толпыгина // Мясной ряд. – 2012. – 7 окт.

12. Антипова, Л. В. Белковые ресурсы рыбного происхождения – источник здоровья и красоты / Л. В. Антипова, С. А. Сторублевцев, М. А. Пискова, Ю.З. Химишев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80, № 4 (78). – С. 138–144.

13. Антипова, Л. В. Коллагеновые субстанции рыбного происхождения: технологии получения и перспективы применения в отраслях экономики / Л. В. Антипова // Актуальная биотехнология. – 2020. – № 3 (34). – С. 122.

14. Антипова, Л. В. Коллагенсодержащие напитки для функционального питания / Л. В. Антипова, С. А. Сторублевцев, А. А. Гетманова // Пищевые ингре-

диенты и напитки для функционального питания : сб. ст. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. – С. 3–13.

15. Антипова, Л. В. Коллагены: источники, свойства, применение / Л. В. Антипова, С. А. Сторублевцев. – Воронеж : ВГУИТ, 2014. – 522 с. – ISBN 978-5-00032-093-8.

16. Антипова, Л. В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л. В. Антипова, И. А. Глотова, И. А. Рогов. – Москва : КолосС, 2004. – 570 с. – ISBN 5-9532-0187-7.

17. Антипова, Л. В. Получение коллагеновых субстанций на основе ферментативной обработки вторичного сырья мясной промышленности / Л. В. Антипова, И. А. Глотова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2000. – № 5–6. – С. 17–21.

18. Антипова, Л. В. Применение коллагеновых субстанций в отраслях экономики / Л. В. Антипова, С. А. Сторублевцев, С. Б. Болгова [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10-4. – С. 601–604.

19. Антипова, Л. В. Современные методы исследования сырья и продуктов животного происхождения / Л. В. Антипова. – Воронеж : Воронежский ЦНТИ — филиал РЭА, 2014. – 531 с. – ISBN 978-5-4218-0240-2.

20. Антипова, Л. В. Создание коллагеновых продуктов из рыбного сырья / Л. В. Антипова, С. А. Сторублевцев, С. Б. Болгова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – № 1 (63). – С. 130–133.

21. Антипова, Л. В. Сравнительные свойства коллагеновых белков рыбного и животного происхождения / Л. В. Антипова, С. А. Сторублевцев // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2016. – № 4. – С. 37–41.

22. Антипова, Л. В. Ферментные препараты для биомодификации белковых систем нетрадиционного сырья рыбной промышленности / Л. В. Антипова, Г. А. Хаустова, До Ле Хыу Нам, О. П. Дворянинова // Пищевая промышленность. – 2011. – № 12. – С. 29–31.

23. Апраксина, С. К. Разработка технологии белкового продукта из коллагенсодержащего сырья и его использование в производстве вареных колбасных изделий : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Апраксина Светлана Константиновна. – Москва, 1996. – 160 с.

24. Асланова, М. А. Пищевой коллаген: биологическая ценность и отличительные признаки / М. А. Асланова, О. К. Деревицкая, А. Л. Боро, Н. Е. Солдатова // Мясная индустрия. – 2024. – № 4. – С. 22–25.

25. Баженов, Е. А. Направления производства и использования пищевых ферментных препаратов в зарубежной практике / Е. А. Баженов, Л. С. Байдалинова // Балтийский морской форум : материалы X Междунар. Балтийского морского форума (Калининград, 26 сентября – 1 октября 2022 г.) : в 7 т. – Калининград : БГАРФ КГТУ, 2022. – Т. 4. – С. 12–20.

26. Баженов, Е. А. Опыт получения пептидов с низкой молекулярной массой из различных видов вторичного рыбного сырья / Е. А. Баженов, Л. С. Байдалинова, В. В. Волков, Т. Гримм // Известия КГТУ. – 2023. – № 71. – С. 84–101.

27. Баженова, Б. А. Исследование свойств коллагенсодержащего животного сырья, модифицированного ферментным препаратом / Б. А. Баженова, А. Г. Бурханова, А. Ц. Жаргалова [и др.] // Все о мясе. – 2022. – № 1. – С. 48–52.

28. Байдалинова, Л. С. Оценка степени гидролиза белков вторичного рыбного сырья при ферментативной и гидротермической обработке / Л. С. Байдалинова // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2018. – Т. 4, № 2. – С. 101–110.

29. Беляев, Н. М. Научно-практические основы расширения ассортимента и оценки качества паштетных продуктов из мяса птицы / Н. М. Беляев, Л. А. Донскова // Новые технологии. – 2019. – № 2. – С. 11–18.

30. Беляев, Н. М. Разработка и исследование потребительских свойств новых продуктов из мяса птицы / Н. М. Беляев, Л. А. Донскова. – Курск : Университетская книга, 2019. – 211 с. – ISBN 978-5-907270-59-6.

31. Бредихина, О. В. Использование отходов от переработки кальмаров для получения белкового гидролизата и полифункционального пищевого комплекса

на его основе / О. В. Бредихина, И. Н. Игониная, Н. Ю. Зарубин [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 99–105.

32. Бикбулатов, П. С. Влияние протеаз на организм спортсмена / П. С. Бикбулатов, О. В. Чугунова // БиoТех-2024 : тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Санкт-Петербург, 16–19 апреля 2024 г.). – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2024. – С. 111.

33. Бикбулатов, П. С. Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности / П. С. Бикбулатов, А. В. Арисов, О. В. Чугунова // Вестник биотехнологии. – 2023. – № 4 (37). – URL: <https://bio-urgau.ru/ru/4-35-2023/23-4-2023> (дата обращения: 30.06.2024).

34. Биокатализ. Фундаментальные исследования и применения : тез. докл. 13-й Междунар. науч. конф. (Суздаль, 25–29 июня 2023 г.). – Суздаль : Адмирал Принт, 2023. – 261 с. – ISBN 978-5-6048945-8-3.

35. Богомья, В. А. Животные белки нового поколения / В. А. Богомья, Т. Ю. Шишкина // Мясные технологии. – 2016. – № 3. – С. 46–47.

36. Болгова, С. Б. Рыбные коллагены: получение, свойства и применение : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.07 / Болгова Светлана Борисовна. – Воронеж, 2015. – 159 с.

37. Борзов, С. В. Изучение ферментативного гидролиза пшеничной муки при производстве патоки для пивоварения / С. В. Борзов, И. Ю. Сергеева, Д. В. Клиппа, В. А. Помозова // Кузбасс: образование, наука, инновации : материалы Инновационного конвента (Кемерово, 15 декабря 2017 г.). – Кемерово : СибГИУ, 2017. – С. 143–145.

38. Борисенко, А. А. Разработка рецептуры функционального печеночного паштета с пребиотическим действием / А. А. Борисенко, Е. Г. Гресева, В. Г. Разинькова [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2022. – № 6 (77). – С. 32–37.

39. Брашко, И. С. Биотехнологический метод конверсии коллагенсодержащего сырья с использованием фермента микробного происхождения / И. С. Браш-

ко, И. Н. Третьякова, С. Л. Тихонов [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10, № 1 (53). – С. 146–150.

40. Брашко, И. С. Биотехнология мясных фаршей: определение качества и биологической ценности / И. С. Брашко, Л. А. Донскова // Индустрия питания. – 2024. – Т. 9, № 2. – С. 85–91.

41. Брашко, И. С. Биотрансформация коллагенсодержащего сырья и разработка продукта антиоксидантной направленности с его использованием / И. С. Брашко, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, А. А. Ногина // Ползуновский вестник. – 2020. – № 4. – С. 62–65.

42. Брашко, И. С. Изучение биокаталитических свойств протеолитического фермента под воздействием внешних факторов / И. С. Брашко, С. Л. Тихонов, Н. А. Клюкиных, Н. В. Тихонова // Пищевые инновации и биотехнологии : сб. тез. X Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Кемерово, 17 мая 2022 г.). – Кемерово : КемГУ, 2022. – Т. 1. – С. 456–457.

43. Брашко, И. С. Исследование влияния коллагеназы на микроструктуру коллагенсодержащего сырья / И. С. Брашко, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, И. Н. Третьякова // Пищевые инновации и биотехнологии : сб. тез. IX Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Кемерово, 17–19 мая 2021 г.). – Кемерово : КемГУ, 2021. – Т. 1. – С. 181–182.

44. Брашко, И. С. Исследование качественных показателей паштета с добавлением коллагенсодержащей пищевой добавки / И. С. Брашко, Л. А. Донскова // Наука, образование и инновации для АПК: состояние, проблемы и перспективы : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Майкоп, 26–27 ноября 2024 г.). – Майкоп : Магарин О. Г., 2024. – С. 165–166.

45. Брашко, И. С. Исследование потенциала переработки вторичных продуктов рыбопромыслового сектора в Уральском регионе / И. С. Брашко, Л. А. Донскова // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 24 апреля 2024 г.). – Екатеринбург : УрГЭУ, 2024. – С. 49–53.

46. Брашко, И. С. Исследование состава ферментного препарата из рыбного сырья / И. С. Брашко // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 25 апреля 2023 г.). – Екатеринбург : УрГЭУ, 2023. – С. 10–14.

47. Брашко, И. С. Исследование технологии автоматизации биотехнологического процесса перерабатывающего производства для получения коллагенсодержащего продукта / И. С. Брашко, Д. А. Дробышева, Н. В. Московенко, С. А. Леонтьева // Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК : сб. науч. ст. Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров (Курск, 15 марта 2023 г.). – Курск : Курская ГСХА им. И. И. Иванова, 2023. – С. 429–432.

48. Брашко, И. С. Коллагенсодержащее сырье и ферменты в производстве паштетной продукции / И. С. Брашко, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность : сб. материалов II Нац. конф. (Кемерово, 17–19 мая 2021 г.). – Кемерово : КемГУ, 2021. – С. 36–37.

49. Брашко, И. С. Паштет с коллагенсодержащим сырьем / И. С. Брашко, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // Вестник Ошского государственного университета. – 2021. – № 1–2. – С. 235–240.

50. Брашко, И. С. Разработка технологического решения биоконверсии мясного сырья / И. С. Брашко, В. М. Позняковский // Продукты питания: производство, безопасность, качество : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 21 февраля 2024 г.). – Уфа : Башкирский ГАУ, 2024. – С. 15–19.

51. Брашко, И. С. Способ производства и биокаталитические свойства ферментного препарата / И. С. Брашко, И. Н. Третьякова, С. Л. Тихонов [и др.] // Пищевые технологии и биотехнологии : материалы XVII Всерос. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием (Казань, 20–23 апреля 2021 г.). – Казань : КНИТУ, 2021. – С. 275–279.

52. Брашко, И. С. Технология переработки коллагенсодержащего сырья / И. С. Брашко, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // Холодильная техника и биотех-

нологии : сб. тез. II Нац. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Кемерово, 2–4 декабря 2020 г.). – Кемерово : КемГУ, 2020. – С. 96–97.

53. Брашко, И. С. Технология производства ферментного препарата из рыбного сырья / И. С. Брашко // Пищевые инновации и биотехнологии : сб. тез. XI Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Кемерово, 18 мая 2023 г.). – Кемерово : КемГУ, 2023. – С. 333–334.

54. Брашко, И. С. Характеристика ферментных препаратов и разработка нового технического решения для биоконверсии коллагенсодержащего сырья / И. С. Брашко, В. М. Позняковский, Л. А. Донскова // Индустрия питания. – 2024. – Т. 9, № 1. – С. 50–59.

55. Буяров, В. С. Эффективность современных технологий производства продукции животноводства и птицеводства : монография / В.С. Буяров, И. В. Червонова, А. В. Буяров. – Орел : ОрелГАУ, 2023. – 200 с. – ISBN 978-5-93382-375-9.

56. Винарский, В. А. Масс-спектрометрия и хромато-масс-спектральный анализ / В. А. Винарский, Р. А. Юрченко. – Минск : БГУ, 2013. – 135 с. – ISBN 978-985-518-890-3.

57. Виноградова, К. А. Автоматизация перерабатывающего процесса коллагенсодержащего сырья / К. А. Виноградова // Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2023) : сб. тр. XXI Всерос. науч. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (Таганрог, 23–25 ноября 2023 г.). – Таганрог : ДиректСайнс, 2023. – С. 299–301.

58. Волик, В. Г. Коллагенсодержащий белок для пищевой индустрии / В. Г. Волик, Д. Ю. Исмаилова, С. В. Зиновьев, О. Н. Ерохина // Птица и птицепродукты. – 2017. – № 6. – С. 61–64.

59. Волик, В. Г. Резервы пищевого белка во вторичном сырье, получаемом при убойе птицы / В. Г. Волик, Д. Ю. Исмаилова, О. Н. Ерохина, В. А. Петровичев // Птица и птицепродукты. – 2009. – № 2. – С. 67–71.

60. Воробьев, В. И. Влияние коллагенсодержащих добавок, полученных из покровных тканей рыб, на качественные характеристики хлеба / В. И. Воробьев,

О. П. Чернега, Ю. А. Фатыхов [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – № 4. – С. 175–188.

61. Воробьев, В. И. Применение рыбных коллагенсодержащих добавок в составе панировочных смесей / В. И. Воробьев, О. П. Чернега, Е. В. Нижникова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2024. – Т. 32, № 2. – С. 25–36.

62. Гальченко, А. В. Оценка потребности в белке и аминокислотах, исходя из биосинтетических потребностей и показателей азотистого баланса / А. В. Гальченко, Л. Д. Морозова, Т. С. Залетова // Вопросы диетологии. – 2017. – Т. 7, № 2. – С. 64–68.

63. Гиро, Т. М. Биомодификация коллагенсодержащих субпродуктов методом ферментативного гидролиза / Т. М. Гиро, С. С. Зубов, А. В. Яшин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 262–269.

64. Горлов, И. Ф. Оптимизация технологии производства рубленых полуфабрикатов с использованием продуктов комплексной переработки птицы / И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, Л. В. Хорошевская [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 3 (67). – С. 306–317.

65. Гришин, Д. В. Биоактивные белки и пептиды: современное состояние и новые тенденции практического применения в пищевой промышленности и кормопроизводстве / Д. В. Гришин, О. В. Подобед, Ю. А. Гладилина [и др.] // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86, № 3. – С. 20–31.

66. Гуринович, Г. В. Изучение состава и свойств белкового сырья от переработки птицы / Г. В. Гуринович, Р. Н. Абдрахманова // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 1. – С. 18–21.

67. Дворянинова, О. П. Инновационный потенциал развития рыбной отрасли: пищевые добавки и ингредиенты / О. П. Дворянинова, А. В. Соколов, М. В. Спиридонова, В. В. Прянишников // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности. АПК – продукты здорового питания. – 2016. – № 4. – С. 26–36.

68. Дементьева, Н. В. Исследование потенциала вторичного сырья, образующегося при обработке двустворчатых моллюсков / Н. В. Дементьева, Т. М. Бойцова, А. А. Боков // Индустрия питания. – 2023. – Т. 8, № 4. – С. 109–118.

69. Дерканосова, А. А. Технологические подходы к производству мясных рубленых полуфабрикатов, обогащенных композитами животного и растительного происхождения / А. А. Дерканосова, Е. Е. Курчаева, Е. В. Панина // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2024. – Т. 86, № 2 (100). – С. 237–247.

70. Долгополова, С. В. Перспективные направления использования коллагена при производстве кулинарной продукции / С. В. Долгополова // Наука 21 века: вопросы, гипотезы, ответы. – 2014. – № 4. – С. 101–104.

71. Донскова, Л. А. Белковый компонент как показатель функционального назначения и качества мясных продуктов: характеристика и методология оценки / Л. А. Донскова, О. Н. Зуева // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2016. – № 3 (38). – С. 73–79.

72. Донскова, Л. А. Идеология сохранения белкового компонента при разработке комбинированных мясных продуктов / Л. А. Донскова, А. В. Барабанова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2013. – № 2 (19). – С. 3–8.

73. Донскова, Л. А. Разработка технологии коллагенсодержащей пищевой добавки для применения в мясных системах / Л. А. Донскова, И. С. Брашко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2024. – Т. 12, № 4. – С. 13–21.

74. Досадина, Э. Э. Иммобилизация бромелаина на целлюлозные носители / Э. Э. Досадина, А. А. Белов // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т. 30, № 9 (178). – С. 7–9.

75. Драгунова, М. М. Метод переработки вторичного коллагенсодержащего сырья с использованием дрожжей *Clavispora lusitaniae* Y3723 / М. М. Драгунова, В. П. Брехова // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 1. – С. 18–21.

76. Драгунова, М. М. Разработка технологии переработки коллагенсодержащих отходов мясоперерабатывающей промышленности в функциональную кормовую добавку / М. М. Драгунова, А. Ю. Просеков, И. С. Милентьева [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 11 (98). – С. 203–206.

77. Дроздова, Н. А. Влияние различных пищевых добавок и ингредиентов на технологические характеристики животных белков / Н. А. Дроздова, В. В. Насонова // Теория и практика переработки мяса. – 2016. – № 3. – С. 48–56.

78. Евдокимова, О. В. Функционально-технологические свойства белковых препаратов / О. В. Евдокимова, Е. Б. Гриминова, Н. Н. Толкунова, В. В. Прянишников // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2006. – № 2–3 (291–292). – С. 73–74.

79. Жаринов, А. И. Белковые добавки: особенности состава, свойств и использования при производстве мясной продукции / А. И. Жаринов, О. В. Кузнецова, В. В. Насонова // Мясная индустрия. – 2021. – № 5. – С. 24–29.

80. Жаринов, А. И. Оценка качества разработанного функционального мясного продукта для детей младшего школьного возраста / А. И. Жаринов, М. Ю. Попова, М. А. Никитина, О. К. Деревицкая // Все о мясе. – 2018. – № 2. – С. 50–54.

81. Зарубин, Н. Ю. К вопросу переработки жилованных отходов мясного сырья и моллюсков для получения высококачественных белковых ферментоллизатов / Н. Ю. Зарубин, О. В. Бредихина, М. И. Бабурина, А. Н. Иванкин // Все о мясе. – 2019. – № 2. – С. 44–48.

82. Зарубин, Н. Ю. Технология и рецептурный состав рыбного кулинарного изделия с использованием коллагеново-растительной композиции / Н. Ю. Зарубин, Е. В. Лаврухина, О. В. Бредихина [и др.] // Пищевая промышленность. – 2024. – № 9. – С. 86–88.

83. Зенкова, Д. В. Анализ технологий белковых продуктов из подсолнечника: концентратов гидролизатов, изолятов, текстуратов / Д. В. Зенкова, А. В. Борисова // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. – 2021. – № 3 (99). – С. 107–116.

84. Зирук, И. В. Качество свинины при использовании комплекса минералов / И. В. Зирук, А. В. Егунова // Вестник АПК Ставрополья. – 2015. – № S1. – С. 182–184.

85. Иванкин, А. Н. Особенности коллагена в мясном сырье / А. Н. Иванкин, А. Д. Неклюдов, О. П. Прошина // Мясная индустрия. – 2009. – № 1. – С. 59–63.

86. Иванова, В. П. Современный взгляд на строение и эволюцию коллагенов. II. Коллагены, ассоциированные с фибриллами / В. П. Иванова, А. И. Кривченко // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2014. – Т. 50, № 4. – С. 245–254.

87. Исмаилова, Д. Ю. Переработка вторичного коллагенсодержащего сырья на пищевые цели / Д. Ю. Исмаилова, В. Г. Волик // Птица и птицепродукты. – 2024. – № 4. – С. 38–41.

88. Исмаилова, Д. Ю. Рациональные способы переработки коллагенсодержащего сырья в птицеперерабатывающей отрасли / Д. Ю. Исмаилова, С. В. Зиновьев, О. Н. Ерохина [и др.] // Птица и птицепродукты. – 2015. – № 6. – С. 55–57.

89. Кажымурат, А. Т. Перспективы применения коллагена в пищевой промышленности / А. Т. Кажымурат, Р. У. Уажанова, Н. Н. Ахметсадыков [и др.] // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков : сб. материалов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 13 января – 22 февраля 2017 г.). – Новосибирск : ЦРНС, 2017. – 172 с.

90. Казакова, В. С. Исследования по комплексной переработке коллагенсодержащего рыбного сырья / В. С. Казакова, Е. С. Землякова // Известия КГТУ. – 2024. – № 72. – С. 81–91.

91. Калтович, И. В. изучение пищевой и биологической ценности рубленых полуфабрикатов с использованием эмульсий из коллагенсодержащего сырья, прошедшего технологическую подготовку / И. В. Калтович // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2020. – Т. 13, № 3 (49). – С. 36–46.

92. Калужских, А. Г. Изменения свойств мяса при применении ферментных препаратов / А. Г. Калужских, Е. Грачева, Д. Лаврова // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной без-

опасности в современных условиях : сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф. (Курск, 15 ноября 2019 г.). – Курск : ЮЗГУ, 2019. – С. 153–156.

93. Кечин, П. А. Анализ ферментных препаратов для пищевой промышленности / П. А. Кечин, Е. В. Пастушкова, О. В. Чугунова // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д. И. Менделеева, посвященной 15-летию Института промышленных технологий и инжиниринга : сб. ст. (Тюмень, 16–18 ноября 2023 г.) : в 3 т. – Тюмень : ТИУ, 2024. – Т. 1. – С. 333–338.

94. Кириллов, Д. В. Биотехнологии в пищевом производстве / Д. В. Кириллов, М. Д. Орехова, А. В. Горбачев [и др.] // Агропродовольственная экономика. – 2022. – № 4. – С. 7–12.

95. Киселева, И. С. Ресурсосберегающие технологии переработки мясной продукции / И. С. Киселева, Ф. Я. Рудик, О. В. Романова // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 5. – С. 140–145.

96. Кисель, А. А. Новые способы и потенциальные возможности применения отходов производства пищевой продукции / А. А. Кисель // Россия – Азия – Африка – Латинская Америка: экономика взаимного доверия : материалы X Евраз. экон. форума молодежи (Екатеринбург, 16–19 апреля 2019 г.) : в 3 т. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2019. – Т. 3. – С. 190–192.

97. Клипак, М. Б. Получение ферментолизата из кожи минтая для повышения пищевой ценности мучных кондитерских изделий / М. Б. Клипак, Т. Н. Слуцкая // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2024. – № 4 (397). – С. 37–42.

98. Ключева, Я. Г. Получение белковых гидролизатов из твердого кератина щелочным гидролизом в присутствии гидроксида натрия / Я. Г. Ключева, Е. Н. Розанова, В. М. Жмыхов // Auditorium. – 2022. – № 4 (36). – С. 18–21.

99. Ковалев, А. Н. Коллаген некоторых видов рыб и беспозвоночных / А. Н. Ковалев, Н. Н. Ковалев, Т. Н. Пивненко // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. (Владивосток, 20–21 мая 2020 г.). – Владивосток : Дальрыбвтуз, 2020. – Ч. II. – С. 45–48.

100. Кори́стов, Д. В. Использование ферментной обработки для снижения жесткости мясного сырья / Д. В. Кори́стов, О. В. Зинина, О. П. Неверова // Молодежь и наука. – 2021. – № 3. – URL: https://min.urgau.ru/images/2021/03_2021/06_03_2021.pdf (дата обращения: 30.06.2024).

101. Косенко, О. В. Значение рыбного белка и аминокислот в питании человека / О. В. Косенко, Е. Е. Иванова, Л. Н. Шубина [и др.] // Устойчивое развитие, экологически безопасные технологии и оборудование для переработки пищевого сельскохозяйственного сырья; импортоопережение : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 21–22 июня 2016 г.). – Краснодар : Экоинвест, 2016. – С. 148–152.

102. Костылева, Е. В. Использование протеолитических ферментов для получения белковых гидролизатов пищевого назначения из вторичного сырья / Е. В. Костылева, А. С. Середа, И. А. Великорецкая [и др.] // Вопросы питания. – 2023. – Т. 92, № 1 (545). – С. 116–132.

103. Красноштанова, А. А. Получение и оценка функциональных свойств белковых изолятов и гидролизатов из растительного сырья / А. А. Красноштанова, Л. В. Шульц // Химия растительного сырья. – 2022. – № 4. – С. 299–309.

104. Красуля, О. Н. Новое антими́кробное пищевое покрытие на основе коллагенсодержащего сырья мяса птицы / О. Н. Красуля, Т. М. Гиро, Е. В. Казакова, Д. Г. Тинамбу́нан // Мясная индустрия. – 2024. – № 7. – С. 20–23.

105. Кротова, М. Г. Способ регуляции глубины и качества гидролиза сырья маралов путем добавления органических растворителей / М. Г. Кротова, Е. Н. Пшеничникова, Е. А. Кронева́льд // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 7 (160). – С. 189–194.

106. Крылова, И. В. Экстракция подсолнечного белка с применением ультразвукового излучения / И. В. Крылова, А. В. Федоров, М. Л. Доморощенко́ва [и др.] // Новые технологии. – 2024. – Т. 20, № 2. – С. 81–89.

107. Куркина, Ю. Ю. Биотехнологические субстанции и промоутеры коллагена в профилактической поддержке соединительной ткани / Ю. Ю. Куркина, В. М. Позняковский // Актуальные проблемы профилактической медицины : ма-

териалы Межрегион. науч.-практ. конф., посвященной 150-летию со дня рождения академика Н. А. Семашко (Кемерово, 12 декабря 2024 г.). – Кемерово : КемГМУ, 2024. – С. 530–532.

108. Куркина, Ю. Ю. Новая форма биологически активного коллагена и его использование в специализированных продуктах для поддержки соединительной ткани / Ю. Ю. Куркина, В. М. Позняковский // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д. И. Менделеева, посвященной 60-летию ТИУ : сб. ст. (Тюмень, 21–23 ноября 2024 г.) : в 3 т. – Тюмень : ТИУ, 2025. – Т. 2. – С. 82–84.

109. Лагутин, А. М. Белковые препараты, используемые в колбасном производстве / А. М. Лагутин // Вестник науки. – 2021. – Т. 1, № 2 (35). – С. 140–143.

110. Лазарев, В. А. Биотехнология клостридиальных коллагеназ с использованием фотостимуляции продуцента и баромембранной обработкой / В. А. Лазарев, И. С. Брашко, С. Л. Тихонов [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2021. – № 3 (68). – С. 27–34.

111. Лазарев, В. А. Концентрирование аминокислот творожной сыворотки на керамических мембранах / В. А. Лазарев, Г. Б. Пищиков, С. В. Шихалев // Молочная промышленность. – 2017. – № 9. – С. 67–69.

112. Левахин, В. Эффективность использования БАВ при выращивании мясных бычков / В. Левахин, И. Бабичева, М. Поберухин [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2010. – № 7. – С. 22–24.

113. Липатов, Н. Н. Принципы проектирования состава и совершенствования технологий многокомпонентных мясных и молочных продуктов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.04 / Липатов Николай Никитович. – Москва, 1988. – 670 с.

114. Литвинова, Е. В. Композит на основе биомодифицированного коллагенсодержащего сырья и растительных компонентов: получение, свойства, использование в технологии мясных продуктов : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04, 05.18.07 / Литвинова Елена Викторовна. – Москва, 2015 – 286 с.

115. Литвинова, Е. В. Новые данные об использовании побочного коллагенсодержащего сырья мясной отрасли / Е. В. Литвинова, И. О. Артемьева, Е. И. Титов [и др.] // Мясная индустрия. – 2022. – № 12. – С. 38–42.

116. Лукин, А. А. Технологические особенности и перспективы использования растительных и животных белков в производстве колбасных изделий / А. А. Лукин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2014. – № 1. – С. 52–59.

117. Лукин, А. А. Ферментативный гидролиз мясных белков протеазами различного происхождения / А. А. Лукин, М. Б. Данилов, С. В. Андреева // Вестник ВСГУТУ. – 2021. – № 1 (80). – С. 39–46.

118. Лысиков, Ю. А. Аминокислоты в питании человека / Ю. А. Лысиков // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2012. – № 2. – С. 88–105.

119. Маринченко, Т. Е. Повышение эффективности в животноводстве / Т. Е. Маринченко, А. П. Королькова // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК : материалы XII Междунар. науч.-практ. интернет-конф. (п. Правдинский Московской области, 8–10 июня 2020 г.). – п. Правдинский : Росинформагротех, 2020. – С. 164–169.

120. Махова, А. А. Изучение ферментативной активности рекомбинантной металлопептидазы, предназначенной для применения в мясной промышленности / А. А. Махова, М. Ю. Минаев, А. В. Куликовский [и др.] // Вопросы питания. – 2019. – Т. 88, № 4. – С. 95–104.

121. Мезенова, Н. Ю. Ферментативная модификация побочного мясокостного коллагенсодержащего сырья при его переработке / Н. Ю. Мезенова, С. В. Агафонова, О. Я. Мезенова [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – Т. 10, № 2(33). – С. 314–324.

122. Мезенова, О. Я. Исследование и рациональное применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей / О. Я. Мезенова, Д. Тишлер, С. В. Агафонова [и др.] // Вестник Международной академии холода. – 2021. – № 1. – С. 46–58.

123. Мелешня, А. В. Аминокислотный состав и сбалансированность коллагенсодержащего сырья, подвергнутого кислотному и щелочному гидролизу / А. В. Мелешня, Т. А. Савельева, С. А. Гордынец [и др.] // Молодежь в науке – 2018 : сб. материалов Междунар. конф. молодых ученых (Минск, 29 октября – 1 ноября 2018 г.). – Минск : Белорусская наука, 2019. – С. 278–284.

124. Мелешня, А. В. Влияние ферментативного гидролиза коллагенсодержащего сырья на показатели его качества и безопасности / А. В. Мелешня, И. В. Калтович, Т. А. Савельева // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. – 2019. – № 1 (26). – С. 84–91.

125. Мелешня, А. В. Пищевая и биологическая ценность мясных паштетов с использованием эмульсий из коллагенсодержащего сырья, прошедшего технологическую подготовку / А. В. Мелешня, Т. А. Савельева, И. В. Калтович // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2020. – Т. 58, № 4. – С. 495–503.

126. Меренкова, С. П. Формирование функционально-технологических свойств мясного фарша под воздействием комплекса ферментов / С. П. Меренкова, О. В. Зинина, С. И. Якимов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 44–53.

127. Методические указания МУК 4.2.2747-10. Методы санитарно-паразитологической экспертизы мяса и мясной продукции : утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 11 октября 2010 г. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prim> (дата обращения: 30.06.2024).

128. Миллер, Ю. Ю. Использование сухих хлебопекарных дрожжей в производстве ферментированных зерновых напитков / Ю. Ю. Миллер, В. А. Помозова, Т. Ф. Киселева // Индустрия питания. – 2024. – Т. 9, № 1. – С. 73–81.

129. Мозжерина, И. В. Переработка продукции рыболовства и аквакультуры / И. В. Мозжерина, В. С. Мидзяновский, М. В. Левашов // Трансформация потребительского рынка в контексте приоритизации качества и безопасности товаров и

услуг : материалы междунар. науч.-практ. интернет-конф. (Донецк, 25–26 апреля 2024 г.). – Донецк : ДонНУЭТ, 2024. – С. 93–95.

130. Морозова, С. А. Использование биотехнологической обработки коллагенсодержащего сырья для получения белковых гидролизатов / С. А. Морозова, В. Я. Пономарев, Э. Ш. Юнусов, Г. О. Ежкова // Пищевая промышленность. – 2019. – № 4. – С. 67–69.

131. Мотовилов, К. Я. Научные и технические аспекты технологий производства белково-углеводной кормовой добавки / К. Я. Мотовилов, С. К. Волончук, И. В. Науменко, А. И. Резепин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 10. – С. 114–119.

132. Муханова, М. А. Перспективы применения вторичных коллагенсодержащих ресурсов толстолобика в пищевых системах / М. А. Муханова, С. А. Свирина, А. А. Бекешева [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 44–53.

133. Насонова, В. В. Нетрадиционные источники эндокринно-ферментного сырья для производства вареных колбасных изделий / В. В. Насонова, А. А. Мотовилина, М. И. Бабурина, А. Н. Иванкин // Мясная индустрия. – 2021. – № 1. – С. 42–45.

134. Насонова, В. В. Способы переработки коллагенсодержащего сырья в пищевых целях / В. В. Насонова, Е. К. Туниева, Е. В. Милеенкова [и др.] // Мясная индустрия. – 2021. – № 11. – С. 22–25.

135. Наумова, Н. Л. Технологические параметры производства вареных колбас из мяса свинины и говядины, обогащенных селеном и комплексом витаминов / Н. Л. Наумова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2013. – Т. 1, № 2. – С. 23–29.

136. Неклюдов, А. Д. Коллаген: получение, свойства и применение / А. Д. Неклюдов, А. Н. Иванкин. – Москва : Моск. гос. ун-т леса, 2007. – 336 с. – ISBN 5-8135-0376-5.

137. Олдырев, Д. В. Получение коллагенсодержащей ихтиосустанции из вторичных рыбных ресурсов / Д. В. Олдырев, О. Д. Сергазиева, Н. В. Ярцева,

А. А. Бахарева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – № 3. – С. 182–198.

138. Олесик, В. В. Исследование технологии коллагеносодержащих препаратов из водных биологических ресурсов / В. В. Олесик // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Владивосток, 27 ноября 2020 г.). – Владивосток : Дальрыбвтуз, 2021. – С. 268–271.

139. Орынбеков, Д. Р. Биотехнологическая обработка низкосортного мяса ферментными препаратами / Д. Р. Орынбеков, К. Ж. Амирханов, Б. К. Асенова [и др.] // Вестник Университета Шакарима. Серия: Технические науки. – 2024. – № 1 (13). – С. 280–288.

140. Панина, Е. В. Влияние ферментативной обработки на гистоморфологическую характеристику биокомпозитов из субпродуктов КРС / Е. В. Панина, Е. Е. Курчаева // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2023. – № 3 (22). – С. 45–54.

141. Патент № 1339917 Российская Федерация, МПК A23B 4/023, C12N 9/64. Способ получения ферментного препарата протеолитического действия из внутренностей свежих или мороженых рыб : № 4017065/13 : заявл. 27.12.1985 : опубл. 15.07.1994 / Т. Н. Слущкая, Н. М. Купина, Т. П. Калиниченко.

142. Патент № 2712518 Российская Федерация, МПК A23L 13/60, A23L 13/40. Полуфабрикат мясной обогащенный : № 2019125687 : заявл. 13.08.2019 : опубл. 29.01.2020 / В. Г. Попов, С. А. Белина, В. В. Тригуб [и др.].

143. Патшина, М. В. Анализ мирового рынка биоматериалов с целью определения потенциальных возможностей сырья животного происхождения / М. В. Патшина, Р. А. Ворошилин, А. М. Осинцев // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 2. – С. 270–289.

144. Патшина, М. В. Белковые препараты в свете решения проблемы импортозамещения / М. В. Патшина, А. В. Канашевич, Т. Н. Курочкина // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований. – 2016. – № 24-1. – С. 99–104.

145. Позняковский, В. М. Методологические аспекты пищевой биотехнологии и их реализация в здоровьесберегающих нутрициологических программах / В. М. Позняковский // Медико-биологические и нутрициологические аспекты здоровьесберегающих технологий : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Кемерово, 28 апр. 2023 г.). – Кемерово : КемГМУ, 2023. – С. 112–117.
146. Польшалина, Г. В. Определение активности ферментов : справочник / Г. В. Польшалина, В. С. Чередниченко, Л. В. Римарева. – Москва : ДеЛи принт, 2003. – 375 с. – ISBN 5-943430-44-X.
147. Потехина, Ю. П. Структура и функции коллагена / Ю. П. Потехина // Российский остеопатический журнал. – 2016. – № 1–2. – С. 87–99.
148. Потороко, И. Ю. Биотехнологические подходы ресурсосбережения вторичных ресурсов молочного производства / И. Ю. Потороко, А. Д. Кузнецова, А. А. Руськина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2025. – Т. 13, № 1. – С. 53–61.
149. Потороко, И. Ю. Бифункциональный ингредиент для мясных эмульсий: сонохимически модифицированный картофельный крахмал / И. Ю. Потороко, А. А. Руськина, А. В. Малинин [и др.] // Мясная индустрия. – 2023. – № 12. – С. 38–42.
150. Потороко, И. Ю. Комплексная заквасочная система для производства ферментированных молочных продуктов / И. Ю. Потороко, А. Д. Кузнецова // Пищевая индустрия: инновационные процессы, продукты и технологии : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию Технологического института (Москва, 16 мая 2024 г.). – Москва : Сам полиграфист, 2024. – С. 281–284.
151. Потороко, И. Ю. Сонохимически наноструктурированные растительные полисахариды: новые стабилизирующие ингредиенты для пищевых эмульсий / И. Ю. Потороко, А. М. Я. Кади, О. Н. Красуля, А. В. Паймулина // Мясная индустрия. – 2022. – № 12. – С. 20–23.

152. Прокофьева, А. А. Белковые отходы как альтернативные источники белка в рационе / А. А. Прокофьева, А. В. Быков, О. В. Кван // Животноводство и кормопроизводство. – 2023. – Т. 106, № 2. – С. 112–126.

153. Райимкулова, Ч. О. Использование модифицированного коллагенсодержащего сырья в технологии мясных продуктов / Ч. О. Райимкулова, А. Д. Джамакеева // Все о мясе. – 2007. – № 2. – С. 10–12.

154. Ребезов, М. Б. Изменение соединительной ткани под воздействием ферментного препарата и стартовых культур / М. Б. Ребезов, А. А. Лукин, М. Ф. Хайруллин [и др.] // Вестник мясного скотоводства. – 2011. – Т. 3, № 64. – С. 78–83.

155. Римарева, Л. В. Биодеструкция белков зернового сырья для получения новых хлебобулочных изделий / Л. В. Римарева, Н. А. Фурсова, Е. Н. Соколова [и др.] // Вопросы питания. – 2018. – № 6. – С. 67–74.

156. Римарева, Л. В. Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности / Л. В. Римарева, Е. М. Серб, Е. Н. Соколова [и др.] // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86, № 5. – С. 63–74.

157. Робканова, Ю. С. Разработка рецептуры паштета из рыбы функционального назначения / Ю. С. Робканова, В. Г. Попов // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д. И. Менделеева : сб. ст. (Тюмень, 24–26 ноября 2022 г.). – Тюмень : ТИУ, 2023. – Т. 2. – С. 111–115.

158. Рогов, И. А. Химия пищи. Принципы формирования качества мясопродуктов : монография / И. А. Рогов, А. И. Жаринов, М. П. Воякин. – Санкт-Петербург : РАПП, 2008. – 340 с. – ISBN 978-5-91541-013-7.

159. Рогозина, Е. А. Технология переработки и продукты переработки мяса страуса / Е. А. Рогозина, В. С. Колодязная // Роль аграрной науки в устойчивом развитии АПК : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (Курск, 26 мая 2022 г.). – Курск : Курская ГСХА им. И. И. Иванова, 2022. – С. 138–144.

160. Рождественская, Л. Н. Перспективы нутриентного профилирования для профилактики заболеваний и укрепления здоровья / Л. Н. Рождественская,

С. П. Романенко, О. В. Чугунова // Индустрия питания. – 2023. – Т. 8, № 2. – С. 63–72.

161. Рожнов, Е. Д. Применение пектолитических ферментных препаратов в производстве напитков из плодов облепихи / Е. Д. Рожнов, А. А. Неклюдов, М. Н. Школьников // Все о мясе. – 2020. – № 5S. – С. 300–303.

162. Романенко, Н. Ю. Специализированные продукты спортивного питания с использованием протеиновых композиций гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья / Н. Ю. Романенко, О. Я. Мезенова, Ю. О. Некрасова // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 414–427.

163. Савинова, А. А. Роль ферментов в метаболизме / А. А. Савинова, В. В. Пантюх // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности : сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 25 апреля 2023 г.). – Москва : АЛЕФ, 2023. – С. 85–88.

164. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024687982 Российская Федерация. Программа для расчета содержания каротиноидов при ферментализации тыквенного пюре : № 2024686888 : заявл. 11.11.2024 : опубл. 22.11.2024 / Е. Д. Рожнов, М. Н. Школьников, В. Н. Аббазова.

165. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024684466 Российская Федерация. Программа для расчета оптимальных параметров ферментативного гидролиза коллагенсодержащего сырья : № 2024683927 : заявл. 14.10.2024 : опубл. 17.10.2024 / И. С. Брашко.

166. Севостьянова, О. И. Экспертиза продукции птицеводства, полученной при использовании в технологии выращивания селенсодержащих витаминно-минеральных комплексов / О. И. Севостьянова, В. А. Оробец, А. В. Серов [и др.] // Ветеринарный врач. – 2020. – № 4. – С. 49–56.

167. Семенова, А. А. Импортозамещение пищевых ингредиентов: животный белок отечественного производства / А. А. Семенова, В. В. Насонова, Н. А. Дроздова // Все о мясе. – 2015. – № 3. – С. 4–7.

168. Серб, Е. М. Особенности биотехнологических способов конверсии соевого сырья в ферментированные продукты / Е. М. Серб, П. Ю. Таджикова, Н. И. Игнатова [и др.] // Биотехнология. – 2021. – Т. 37, № 5. – С. 41–48.

169. Серб, Е. М. Получение концентрированных ферментных препаратов для конверсии белка и полисахаридов сельскохозяйственного сырья в биотехнологических производствах / Е. М. Серб, А. Ю. Шариков, М. Б. Оверченко [и др.] // Пищевая промышленность. – 2023. – № 4. – С. 46–50.

170. Сметанина, Л. Б. Научное обоснование рационального использования ферментированного коллагенсодержащего сырья для производства мясных консервов / Л. Б. Сметанина, Н. А. Косырев // Все о мясе. – 2008. – № 6. – С. 20–26.

171. Сойко, О. В. Ферментация в технологии пищевых систем / О. В. Сойко // Конкурентоспособность территорий : материалы XXVI Всерос. экон. форума молодых ученых и студентов (Екатеринбург, 26–29 апреля 2023 г.) : в 3 ч. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2023. – Ч. 2. – С. 107–109.

172. Соколов, А. В. Современное состояние и тенденции развития рыбохозяйственного комплекса России / А. В. Соколов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 4. – С. 36–48.

173. Соколов, А. Ю. Новые способы переработки коллагенсодержащего сырья мясной промышленности / А. Ю. Соколов, Л. Ф. Митасева, С. К. Апраксина // Все о мясе. – 2008. – № 5. – С. 38–41.

174. Спиридонов, К. И. Животные белки – состав, свойства, особенности применения / К. И. Спиридонов, Е. К. Туниева // Все о мясе. – 2018. – № 6. – С. 51–53.

175. Спиридонов, К. И. Зависимость функционально-технологических свойств животных белков от их состава / К. И. Спиридонов, К. И. Туниева // Ползуновский вестник. – 2019. – № 3. – С. 37–43.

176. Султаева, Н. Л. Разработка научно-практических основ кулинарного использования сырья с высоким содержанием коллагена : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.16 / Султаева Наталья Леонидовна. – Москва, 1998. – 22 с.

177. Сумина, Е. Б. Исследования по получению и применению гидролизатов из голов копченой кильки в технологии обогащенных крекеров / Е. Б. Сумина, О. Я. Мезенова // Балтийский морской форум : материалы VI Междунар. Балтийского морского форума (Калининград, 3–6 сентября 2018 г.) : в 6 т. – Калининград : КГТУ, 2018. – Т. 4. – С. 128–136.

178. Сухих, С. А. Изучение коллагеназной активности ферментов микробного, растительного и животного происхождения / С. А. Сухих, О. О. Бабич, Е. В. Ульрих // АгроЭкоИнженерия. – 2021. – № 2 (107). – С. 142–148.

179. Титов, Д. В. Повышение качества и безопасности фаршевых кулинарных изделий на этапе хранения / Д. В. Титов, Н. В. Долганова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2022. – № 4 (75). – С. 83–88.

180. Титов, Е. И. Структурно-механические показатели кисломолочных продуктов с гидролизатом белка из кожи рыб / Е. И. Титов, И. И. ИONOва, И. С. Краснова [и др.] // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87, № S5. – С. 243–244.

181. Тихонов, С. Л. Активация биокаталитических свойств коллагеназы, предназначенной для применения в технологии мясопродуктов / С. Л. Тихонов, И. С. Брашко, Н. В. Тихонова [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 12 (165). – С. 184–194.

182. Тихонов, С. Л. Технология производства и биокаталитические свойства протеолитического ферментного препарата / С. Л. Тихонов, И. С. Брашко, Н. В. Тихонова [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2021. – Т. 9, № 2. – С. 26–35.

183. Тихонов, С. Л. Ферментный препарат микробного происхождения и оценка его эффективности при обработке коллагенсодержащего сырья / С. Л. Тихонов, И. С. Брашко, Н. В. Тихонова, М. С. Тихонова // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 9. – С. 67–72.

184. Тихонова, Ю. В. Свойства продуктов гидролиза коллагена / Ю. В. Тихонова, Л. Г. Кривоносова, С. П. Ломакин [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2009. – Т. 16, № 1. – С. 13–15.

185. Убушаев, Б. С. Технология производства молодой баранины с использованием витаминно-минерального премикса / Б. С. Убушаев, А. К. Натиров, Н. Н. Мороз // Вестник Калмыцкого университета. – 2013. – № 3 (19). – С. 21–24.

186. Устинова, А. В. Комплексные биологически активные добавки для профилактики остеопороза в составе мясных продуктов / А. В. Устинова, А. С. Дыдыкин, А. П. Попова, Е. В. Сурнин // Все о мясе. – 2011. – № 5. – С. 26–28.

187. Фисинин, В. И. Глубокая переработка вторичных продуктов птицеводства для разных направлений использования / В. И. Фисинин, Д. Ю. Исмаилова, В. Г. Волик [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52, № 6. – С. 1105–1115.

188. Фоменко, Д. В. Актуальность обогащения мясных продуктов коллагенсодержащими белками / Д. В. Фоменко, А. А. Рогожин // Технологии и продукты здорового питания : сб. ст. XII Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Саратов, 17–18 декабря 2020 г.). – Саратов : Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова, 2021. – С. 707–710.

189. Чугунова, О. В. Эффективное использование продовольственных ресурсов в технологии пищевых систем / О. В. Чугунова, А. В. Арисов. – Курск : Университетская книга, 2022. – 189 с. – ISBN 978-5-907555-46-4.

190. Шаабан, М. Гидролизированные белки: доступность, биоактивность, безопасность, применение при производстве кормов (обзор) / М. Шаабан // Животноводство и кормопроизводство. – 2024. – Т. 107, № 4. – С. 309–323.

191. Шафранский, И. Н. Оценка тенденций развития конкурентоспособности мясной продукции / И. Н. Шафранский // Проблемы экономики. – 2017. – № 1 (24). – С. 137–159.

192. Шиленок, О. И. Сравнительная характеристика функциональных свойств белковых препаратов / О. И. Шиленок, И. В. Кочнева, С. Н. Толкунов [и др.] // Пищевая промышленность. – 2006. – № 11. – С. 73–74.

193. Югай, А. В. К вопросу о многофункциональном использовании коллагена, получаемого из кожи рыб / А. В. Югай, Т. М. Бойцова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-4. – С. 704–707.

194. Юнусов, Э. Ш. Рубленые полуфабрикаты с использованием соевых белковых препаратов / Э. Ш. Юнусов, В. Я. Пономарев, Г. О. Ежкова // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 18. – С. 159–163.
195. Ярцева, Н. В. Совершенствование технологии рыбного фарша из прудовых рыб и оценка качества кулинарных изделий из него / Н. В. Ярцева, Н. В. Долганова, И. Ю. Алексанян, А. Х.-Х. Нугманов // Индустрия питания. – 2022. – Т. 7, № 2. – С. 61–71.
196. Abbazova, V. Application of resource-saving technologies in the process of processing agricultural raw materials and their waste / V. Abbazova, M. Shkolnikova, E. Rozhnov // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 537. – Art. 07008.
197. Abril, B. Role of enzymatic reactions in meat processing and use of emerging technologies for process intensification / B. Abril, R. Bou, J. V. García-Pérez [et al.] // Foods. – 2023. – Vol. 12, № 10. – Art. 1940.
198. Alahmad, K. Effect of the degree of hydrolysis on nutritional, functional, and morphological characteristics of protein hydrolysate produced from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) using ficin enzyme / K. Alahmad, W. Xia, Q. Jiang, Y. Xu // Foods. – 2022. – Vol. 11, № 9. – Art. 1320.
199. Alibekov, R. S. Review of the slaughter wastes and the meat by-products recycling opportunities / R. S. Alibekov, Z. I. Alibekova, A. R. Bakhtybekova [et al.] // Frontiers in sustainable food systems. – 2024. – Vol. 8. – Art. 1410640.
200. Bahreinipour, M. Radioprotective effect of nanoceria and magnetic flower-like iron oxide microparticles on gamma radiation-induced damage in BSA protein / M. Bahreinipour, H. Zarei, F. Dashtestani [et al.] // AIMS Biophysics. – 2021. – Vol. 8, № 2. – P. 124–142.
201. Bedi, G. S. Purification and characterization of a collagen-degrading protease from *Porphyromonas gingivalis* / G. S. Bedi, T. Williams // The journal of biological chemistry. – 1994. – Vol. 269, № 1. – P. 599–606.
202. Borisenko, A. Expanding the range of fortified meat products through the targeted combination of raw materials of animal and vegetable origin / A. Borisenko, Ya. Uzakov, E. Greseva [et al.] // Potravinarstvo. – 2024. – Vol. 18. – P. 683–696.

203. Brashko, I. The analysis of biocatalytic properties of a proteolytic enzyme under the influence of physical factors / I. Brashko, I. Tretyakova, S. Tikhonov [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 254. – Art. 10023.

204. Cerrato, A. Identification and antimicrobial activity of medium-sized and short peptides from yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) simulated gastrointestinal digestion / A. Cerrato, A. Capriotti, F. Capuano [et al.] // Foods. – 2020. – Vol. 9. – Art. 1185.

205. Chel-Guerrero, L. Antioxidant, chelating, and angiotensin-converting enzyme inhibitory activities of peptide fractions from red lionfish (*Pterois volitans* L.) muscle protein hydrolysates / L. Chel-Guerrero, Y. Estrella-Millán, D. Betancur-Ancona [et al.] // International food research journal. – 2020. – Vol. 27. – P. 224–233.

206. Chen, D. Enzyme engineering and industrial bioprocess / D. Chen, H. Tingting, J. Zhu [et al.] // Current developments in biotechnology and bioengineering / eds. S. P. Singh [et al.]. – Amsterdam : Elsevier, 2019. – P. 165–188.

207. Collagen from marine biological source and medical applications / eds. A. Rahman, T. H. Silva. – Basel : MDPI, 2022. – 304 p. – ISBN 978-3-0365-3664-4.

208. Delikanli-Kiyak, B. Advanced technologies for the collagen extraction from food waste – a review on recent progress / B. Delikanli-Kiyak, N. İ. Çinkır, Y. Çelebi [et al.] // Microchemical journal. – 2024. – Vol. 201. – Art. 110404.

209. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation. – Rome : FAO, 2013. – 76 p. – ISBN 978-92-5-107417-6.

210. Duguma, H. T. Potentials of superfine grinding in quality modification of food powders / H. T. Duguma, L. Zhang, C. E. Ofoedu [et al.] // CyTA – Journal of food. – 2023. – Vol. 21, № 1. – P. 530–541.

211. Duque-Estrada, P. Protein blends and extrusion processing to improve the nutritional quality of plant proteins / P. Duque-Estrada, K. Hardiman, A. Bøgebjerg Dam [et al.] // Food and function. – 2023. – Vol. 14. – P. 7361–7374.

212. Dybka, K. Collagen hydrolysates as a new diet supplement / K. Dybka, P. Walczak // Food chemistry and biotechnology. – 2009. – Vol. 73, № 1058. – P. 83–92.

213. Eliot, A. C. Pyridoxal phosphate enzymes: mechanistic, structural, and evolutionary considerations / A. C. Eliot, J. F. Kirsch // *Annual review of biochemistry*. – 2004. – Vol. 73. – P. 383–415.

214. Enzyme nomenclature: recommendations of the Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology on the nomenclature and classification of enzymes. – San Diego : Academic Press, 1992. – 862 p. – ISBN 978-0-12-227164-9.

215. Espinoza, D. Technological advances in the obtaining, identification and production of protein hydrolysates from fish waste by enzymatic action: bioactive and technofunctional properties, application in food, market and regulation / D. Espinoza, A. Castillo // *Scientia agropecuaria*. – 2022. – Vol. 13, № 2. – P. 135–148.

216. Etemadian, Y. Development of animal/plant-based protein hydrolysate and its application in food, feed and nutraceutical industries: State of the art / Y. Etemadian, V. Ghaemi, A. R. Shaviklo [et al.] // *Journal of cleaner production*. – 2021. – Vol. 278. – Art. 123219.

217. Felician, F. F. Collagen from marine biological sources and medical applications / F. F. Felician, C. Xia, W. Qi, H. Xu // *Chemistry and biodiversity*. – 2018. – Vol. 15, № 5. – Art. e1700557.

218. Freret, T. Fast anxiolytic-like effect observed in the rat conditioned defensive burying test, after a single oral dose of natural protein extract products / T. Freret, S. Largilliere, G. Nee [et al.] // *Nutrients*. – 2021. – Vol. 13. – Art. 2445.

219. Global industrial enzymes market growth – projected to reach worth \$9.2 Bn by 2027 / BlueWeave Consulting. – URL: <https://www.blueweaveconsulting.com/press-release/global-industrial-enzymes-market-growth-projected-to-reach-worth-usd-9-2-billion-by-2027> (дата обращения: 02.07.2024).

220. Gómez-Guillén, M. C. Development of a ready-to-eat fish product enriched with fish oil entrapped in a κ -carrageenan egg white fish protein hydrolysate dry powder / M. C. Gómez-Guillén, S. Pérez-García, A. Alemán [et al.] // *Foods*. – 2023. – Vol. 12. – Art. 2272.

221. Grasso, F. Feasibility of enzymatic protein extraction from a dehydrated fish biomass obtained from unsorted canned yellowfin tuna side streams: part I / F. Grasso, D. Méndez-Paz, R. Vázquez Sobrado [et al.] // Gels. – 2023. – Vol. 9. – Art. 760.

222. Gulevsky, A. K. Collagen: structure, metabolism, production and industrial application / A. K. Gulevsky, I. I. Shcheniavsky // Biotechnologia acta. – 2020. – Vol. 13, № 5. – P. 42–61.

223. Hassan, M. A. Evaluation of the properties of spray dried visceral protein hydrolysate from *Pangasianodon hypophthalmus* (sauvage, 1978) extracted by enzymatic and chemical methods / M. A. Hassan, R. P. Deepitha, K. A. M. Xavier [et al.] // Waste and biomass valorization. – 2018. – Vol. 9. – P. 2547–2558.

224. Heffernan, S. Assessment of the biological activity of fish muscle protein hydrolysates using in vitro model systems / S. Heffernan, L. Giblin, N. O'Brien // Food chemistry. – 2021. – Vol. 359. – Art. 129852.

225. Hong, H. Preparation of low-molecular-weight, collagen hydrolysates (peptides): current progress, challenges, and future perspectives / H. Hong, H. Fan, M. Chalamaiiah, J. Wu // Food chemistry. – 2019. – Vol. 301. – Art. 125222.

226. Iannucci, L. E. Optical imaging of dynamic collagen processes in health and disease / L. E. Iannucci, C. S. Dranoff, M. A. David, S. P. Lake // Frontiers in mechanical engineering. – 2022. – Vol. 8. – Art. 855271.

227. Idowu, A. T. Bioactivity potentials and general applications of fish protein hydrolysates / A. T. Idowu, O. O. Igiehon, S. Idowu [et al.] // International journal of peptide research and therapeutics. – 2021. – Vol. 27. – P. 109–118.

228. Islam, M. Influence of the degree of hydrolysis on functional properties and antioxidant activity of enzymatic soybean protein hydrolysates / M. Islam, Y. Huang, S. Islam [et al.] // Molecules. – 2022. – Vol. 27, № 18. – Art. 6110.

229. Kahraman, G. Physicochemical and rheological properties of rice-based gluten-free blends containing differently treated chickpea flours / G. Kahraman, S. Harsa, M. Lucisano, C. Cappa // LWT. – 2018. – Vol. 98. – P. 276–282.

230. Krasulya, O. N. New antimicrobial food coating based on collagen-containing raw materials of poultry meat / O. N. Krasulya, T. M. Giro, E. V. Kazakova, D. G. Tinambunan // Meat Industry. – 2024. – № 7. – P. 20–23.

231. Kumar, N. S. A review on microbial proteases / N. S. Kumar, P. S. S. Devi, A. S. Nair // International journal of advanced research. – 2016. – Vol. 4, № 7. – P. 2048–2053.

232. Kuprina, E. E. Obtaining and study of peptide compositions based on hydrolysates of collagen-containing fish raw materials / E. E. Kuprina, E. I. Kiprushkina, V. V. Abramzon [et al.] // Fermentation. – 2023. – Vol. 9. – Art. 458.

233. Le Faouder, J. Fish hydrolysate supplementation prevents stress-induced dysregulation of hippocampal proteins relative to mitochondrial metabolism and the neuronal network in mice / J. Le Faouder, B. Arnaud, R. Lavigne [et al.] // Foods. – 2022. – Vol. 11. – Art. 1591.

234. León-López, A. Hydrolyzed collagen-sources and applications / A. León-López, A. Morales-Peñaloza, V. M. Martínez-Juárez [et al.] // Molecules. – 2019. – Vol. 24, № 22. – Art. 4031.

235. Miftakhutdinova, E. Technology optimization for the production of meat paste with lithium / E. Miftakhutdinova, S. Tikhonov, A. Diachkova [et al.] // International journal of pharmaceutical research and allied sciences. – 2021. – Vol. 10, № 1. – P. 100–108.

236. Minkoff, B. B. Covalent modification of amino acids and peptides induced by ionizing radiation from an electron beam linear accelerator used in radiotherapy / B. B. Minkoff, S. T. Bruckbauer, G. Sabat [et al.] // Radiation research. – 2019. – Vol. 191, № 5. – P. 447–459.

237. Nithya, S. Microwave-assisted extraction of phytochemicals / S. Nithya, R. R. Krishnan, N. R. Rao [et al.] // Drug discovery and design using natural products / ed. J. N. Cruz. – Cham : Springer, 2023. – P. 209–238.

238. Ortizo, R. G. G. Extraction of novel bioactive peptides from fish protein hydrolysates by enzymatic reactions / R. G. G. Ortizo, V. Sharma, M. L. Tsai [et al.] // Applied sciences (Switzerland). – 2023. – Vol. 13, № 9. – Art. 5768.

239. Palm, D. The role of pyridoxal 5'-phosphate in glycogen phosphorylase catalysis / D. Palm, H. W. Klein, R. Schinzel [et al.] // *Biochemistry*. – 1990. – Vol. 29, № 5. – P. 1099–1107.

240. Pang, H. Effect of NaCl concentration on microbiological properties in NaCl assistant anaerobic fermentation: hydrolase activity and microbial community distribution / H. Pang, X. Xin, J. He [et al.] // *Frontiers in microbiology*. – 2020. – Vol. 11. – Art. 589222.

241. Park, S. H. Comparative analysis of collagens extracted from different animal sources for application of cartilage tissue engineering / S. H. Park, T. Song, T. S. Bae [et al.] // *International journal of precision engineering and manufacturing*. – 2012. – Vol. 13. – P. 2059–2066.

242. Ponomarev, V. Biotechnological transformation of raw materials with reduced technological properties by proteolytic preparations of various origins / V. Ponomarev, E. Yunusov, G. Ezhkova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2022. – Vol. 978. – P. 12–51.

243. Ribeiro, J. C. Evaluation of the ultrafiltration method to obtain a high-value protein concentrate from the edible insect *Tenebrio molitor* / J. C. Ribeiro, E. R. Coscueta, L. M. Cunha, M. E. Pintado // *Journal of insects as food and feed*. – 2023. – Vol. 10, № 3. – P. 491–504.

244. Robichaud, V. Effect of γ -irradiation and food additives on the microbial inactivation of foodborne pathogens in infant formula / V. Robichaud, L. Bagheri, S. Salmieri [et al.] // *LWT*. – 2021. – Vol. 139. – Art. 110547.

245. Rodrigues, L. A. Unveiling the potential of betaine/polyol-based deep eutectic systems for the recovery of bioactive protein derivative-rich extracts from sardine processing residues / L. A. Rodrigues, I. C. Leonardo, F. B. Gaspar [et al.] // *Separation and purification technology*. – 2021. – Vol. 276. – Art. 119267.

246. Roy, V. C. Trash to treasure: an up-to-date understanding of the valorization of seafood by-products, targeting the major bioactive compounds / V. C. Roy, M. R. Islam, S. Sadia [et al.] // *Marine drugs*. – 2023. – Vol. 21. – Art. 485.

247. Rozhnov, E. Enzymatic processing as a tool for increasing the biological value of pumpkin puree / E. Rozhnov, M. Shkolnikova, V. Lazarev // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 537. – Art. 10014.

248. Ryu, B. Muscle protein hydrolysates and amino acid composition in fish / B. Ryu, K H. Shin, S K. Kim // Marine Drugs. – 2021. – Vol. 19, № 7. – Art. 377.

249. Sabri, N. S. M. Permeable and antifouling PSf-Cys-CuO ultrafiltration membrane for separation of biological macromolecules proteins / N. S. M. Sabri, H. Hasbulah, L. W. Jye [et al.] // Environmental quality management. – 2024. – Vol. 33, № 3. – P. 103–112.

250. Salim, N. V. Comprehensive review on collagen extraction from food by-products and waste as a value-added material / N. V. Salim, B. Madhan, V. Glattauer, J. A. M. Ramshaw // International journal of biological macromolecules. – 2024. – Vol. 278. – Art. 134374.

251. Sharma, V. Waste valorization in food industries: a review of sustainable approaches / V. Sharma, A. Singh, M. Grenier [et al.] // Sustainable Food Systems, vol. II / ed. M. Thakur. – Cham : Springer, 2023. – P. 161–183.

252. Siddik, M. A. Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: a review / M. A. Siddik, J. Howieson, R. Fotedar, G. J. Partridge // Reviews in aquaculture. – 2021. – Vol. 13, № 1. – P. 406–430.

253. Stevens, J. R. The rise of aquaculture by-products: increasing food production, value, and sustainability through strategic utilization / J. R. Stevens, R. W. Newton, M. Tlusty, D. C. Little // Marine policy. – 2018. – Vol. 90. – P. 115–124.

254. Velez Miñano, L. Y. Técnicas de extracción de colágeno: aplicaciones y tendencias científicas / L. Y. Velez Miñano, J. C. Fernandez Baca // Manglar. – 2024. – Vol. 21, № 3. – P. 391–399.

255. Venugopal, V. Seafood industry effluents: environmental hazards, treatment and resource recovery / V. Venugopal, A. Sasidharan // Journal of environmental chemical engineering. – 2021. – Vol. 9. – Art. 104758.

256. Verbytskyi, S. Biotechnological basics and practical methods of processing collagen-containing raw materials from poultry / S. Verbytskyi, L. Voitsekhivska, H. Пацера, Y. Okhrimenko // *Prodovol'čì resursi*. – 2024. – Vol. 12, № 22. – P. 7–15.

257. Wiseman, A. Biochemical basis of free and immobilised enzyme applications in industry, analysis, synthesis and therapy / A. Wiseman // *Journal of chemical technology and biotechnology*. – 2007. – Vol. 30, № 1. – P. 521–529.

258. Xu, S. Improving the sustainability of processing by-products: extraction and recent biological activities of collagen peptides / S. Xu, Y. Zhao, W. Song [et al.] // *Foods*. – 2023. – Vol. 12. – Art. 1965.

259. Zaky, A. A. Bioactivities, applications, safety, and health benefits of bioactive peptides from food and by-products: a review / A. A. Zaky, J. Simal-Gandara, J.-B. Eun [et al.] // *Frontiers in nutrition*. – 2022. – Vol. 8. – Art. 815640.

260. Zhao, G. X. Antioxidant peptides from the protein hydrolysate of Spanish mackerel (*Scomberomorous niphonius*) muscle by *in vitro* gastrointestinal digestion and their *in vitro* activities / G. X. Zhao, X. R. Yang, Y. M. Wang [et al.] // *Marine drugs*. – 2019. – Vol. 17, № 9. – Art. 531.

261. Zhao, Y. New technologies and products for livestock and poultry bone processing: research progress and application prospects: a review / Y. Zhao, C. L. Law // *Trends in food science and technology*. – 2024. – Vol. 144. – Art. 104343.

Приложение А
(обязательное)

Технические условия ТУ 201464-089-02069214-2023

«Ферментный препарат из рыбного сырья»



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

УТВЕРЖДАЮ
Ректор ФГБОУ ВО «Уральский
государственный экономический университет»
Я.П. Силин
«20» октября 2023 г.



ФЕРМЕНТНЫЙ ПРЕПАРАТ ИЗ РЫБНОГО СЫРЬЯ

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
ТУ 201464-089-02069214-2023

Дата введения: «20» октября 2023 г.

РАЗРАБОТЧИК:

И.С. Брашко ассистент кафедры пищевой инженерии Брашко И.С.
старший преподаватель кафедры пищевой инженерии,
к.т.н. Леонтьева С.А.
О.С. Чеченихина профессор кафедры пищевой инженерии,
д.б.н. Чеченихина О.С.

г. Екатеринбург, 2023 г.

Приложение Б
(обязательное)

Техническая инструкция ТИ 201464-089-02069214
по производству ферментного препарата из рыбного сырья



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

УТВЕРЖДАЮ
Ректор ФГБОУ ВО «Уральский
государственный экономический университет»
Я.П. Силин
«10» октября 2023 г.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
ПО ПРОИЗВОДСТВУ
ФЕРМЕНТНОГО ПРЕПАРАТА ИЗ РЫБНОГО СЫРЬЯ

ТИ ТУ 201464-089-02069214

Дата введения: «10» октября 2023 г.

РАЗРАБОТЧИК:

ассистент кафедры пищевой инженерии Брашко И.С.

старший преподаватель кафедры пищевой инженерии,
к.т.н. Леонтьева С.А.

профессор кафедры пищевой инженерии,
д.б.н. Чеченихина О.С.

г. Екатеринбург, 2023 г.

Приложение В
(обязательное)

Технические условия ТУ 929150-091-02069214-2025
«Коллагенсодержащая пищевая добавка»



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКП 929150



УТВЕРЖДАЮ
Я.П. Силин
«12» февраля 2025 г.

КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩАЯ ПИЩЕВАЯ ДОБАВКА

Технические условия
ТУ 929150-091-02069214-2025

Дата введение в действие
«12» февраля 2025 г.
Без ограничения срока действия

РАЗРАБОТАНО
И.С. Брашко
Л.А. Донскова

г. Екатеринбург
2025 г.

Приложение Г
(обязательное)

Технические условия ТИ 929150-091-02069214-2025
«Коллагенсодержащая пищевая добавка»



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКП 929150



УТВЕРЖДАЮ

Я.П. Силин

«12» февраля 2025 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
по производству коллагенсодержащей пищевой добавки
ТИ 929150-091-02069214-25

Дата введение в действие

«12» февраля 2025 г.

Без ограничения срока действия

РАЗРАБОТАНО

И.С. Брашко

Л.А. Донскова

г. Екатеринбург

2025 г.

Приложение Д (обязательное)

Программа для расчета оптимальных параметров ферментативного гидролиза коллагенсодержащего сырья

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2024684466**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2024684466
Дата регистрации: 17.10.2024
Номер и дата поступления заявки:
2024683927 14.10.2024
Дата публикации и номер бюллетеня:
17.10.2024 Бюл. № 10

Автор(ы):
Брашко Иван Сергеевич (RU)
Правообладатель(и):
Брашко Иван Сергеевич (RU)

Название программы для ЭВМ:

Программа для расчета оптимальных параметров ферментативного гидролиза коллагенсодержащего сырья

Реферат:

Программа предназначена для расчета оптимальных параметров при проведении ферментативного гидролиза коллагенсодержащего сырья. Программа позволяет определить: общую активность ферментолизата; время гидролиза. Основные параметры для расчета: содержание коллагена; размер частиц сырья; концентрация субстрата; активность ферментолизата; концентрация ферментолизата; температура гидролиза; pH раствора; целевой размер пептидов. На основе полученных результатов расчета в программе заполняется формуляр расчетов. Программа разработана с использованием Microsoft Excel 2021. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: расчет общей активности ферментолизата; расчет времени гидролиза. Программа может применяться предприятиями пищевой промышленности, а также в учебном процессе высших и средних учебных заведений. Тип ЭВМ: IBM PC; ОС: Windows XP, Vista, 7, 8, 10, 11.

Язык программирования:

Visual Basic, Visual Basic for Application (VBA)

Объем программы для ЭВМ:

0,018 МБ

Приложение Е (обязательное)

Акт о выработке опытных образцов



исх. № 305
«05» марта 2024 г.

г. Москва

Акт

о выработке опытных образцов ферментализата из вторичных рыбных ресурсов на предприятии ООО НИИ «Профи.Био» (г. Москва)

Настоящий акт, составлен о том, что на инновационном предприятии ООО НИИ «Профи.Био» (г. Москва), была апробирована технология получения опытных образцов ферментализата из вторичных рыбных ресурсов, разработанные Брашко И.С. в рамках диссертационных исследований выполняемых на базе ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

Были проведены пилотные исследования и получены образцы ферментализата из вторичных рыбных ресурсов, pH на уровне 7,5

Данные рецептуры, были апробированы на экспериментальном производстве ООО НИИ «Профи.Био» (г. Москва).

Опытные образцы были получены согласно разработанной технологии. Промывка и очистка сырья, измельчение. Сырье помещается в 1% раствор уксусной кислоты (гидромодуль 1:3, температура $40 \pm 3^\circ\text{C}$) с протеазной обработкой. Слизь извлекалась из кожи рыбы в дистиллированной воде при 10°C с последующей фильтрацией и центрифугированием (4500 об/мин, 15 минут, 4°C). Продукт фильтруется через поры 0,45 мкм. Обработанное протеазой рыбное сырье (температура $40 \pm 3^\circ\text{C}$, pH 8, 2 часа) подвергается инаktivации ферментов нагревом до $80-90^\circ\text{C}$ на 15 минут, с последующим охлаждением до $7 \pm 3^\circ\text{C}$. Раствор центрифугируется (6000 об/мин, 15 минут, $7 \pm 3^\circ\text{C}$) и фильтруется (0,45–1,0 мкм). Ферментализат сушится распылительной сушкой (температура $120-200^\circ\text{C}$ на входе, $70-90^\circ\text{C}$ на выходе) до получения порошка (100 мкм).

Руководитель



П.А.Кечин

Приложение Ж
(обязательное)

Документы, подтверждающие внедрение результатов исследования



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

СПРАВКА

18 февраля 2025 г.

№ 1/1802

г. Екатеринбург

О внедрении результатов диссертационного исследования Брашко Ивана Сергеевича на тему «Разработка технологии коллагенсодержащей пищевой добавки и ее практическое применение в пищевых системах» в учебный процесс ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

Настоящая справка дана Брашко Ивану Сергеевичу в том, что основные научно-методические положения, содержащиеся в диссертационном исследовании «Разработка технологии коллагенсодержащей пищевой добавки и ее практическое применение в пищевых системах», представленном на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 4.3.3. «Пищевые системы», нашли применение в учебном процессе ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» при подготовке бакалавров, специалистов и магистров в рамках основных образовательных программ 19.03.01 «Биотехнология» (профиль «Пищевая биотехнология»), по дисциплине «Пищевая биотехнология».

Проректор по учебно-методической
работе и качеству образования



Д.А. Карх