

УДК 637.07

Отечественные разработки белковых систем типа «Коллаген» для решения задач отраслевого импортозамещения

РЭУ им. Г. В. Плеханова

А. Ю. Соколов

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Соколов Александр Юрьевич

Адрес: 117997, РФ, Москва,

Стремянный переулок, д. 36

E-mail: alrs@inbox.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования

доступны по запросу

у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Соколов, А. Ю. (2023). Отечествен-

ные разработки белковых систем

типа «Коллаген» для решения задач

отраслевого импортозамещения.

Хранение и переработка сельхозсырья,(1), 200 – 211. [https://doi.org/10.36107/](https://doi.org/10.36107/spfp.2023.326)

spfp.2023.326

ПОСТУПИЛА: 14.11.2022

ПРИНЯТА: 06.02.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии

конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. В контексте решения проблемы белка, представлены технологические решения для рационального использования белковых ресурсов животного происхождения в пищевой промышленности, общественном питании, отрасли первичной обработки сырья животного происхождения, крайне актуальные для АПК РФ в условиях турбулентного рынка и новых геополитических реалий. Давно назрела необходимость отраслевого импортозамещения в отраслях, перерабатывающих сырье животного происхождения, в мясной промышленности и т.д. Отечественные научные разработки могут найти применение для замещения импортных БАДов, белковых добавок, продуктов с торговой маркой «Коллаген» и т.д.

Цель: изучить структуру и свойства белковых систем на основе сложных биополимеров и сформировать рекомендации для внедрения отечественных разработок, активно развиваемых в вузах и НИИ на протяжении 30–40 лет.

Материалы и методы. Для реализации поставленной цели в качестве объекта испытаний были использованы образцы белковых систем на основе волокнистых белков, полученные в лаборатории методом регулируемого гидролиза, а также биологически активные белковые добавки торговой марки «Коллаген». Изучение реологических, микроструктурных и других свойств осуществлялось следующими методами: вискозиметрия ротационная, оптическая микроскопия, растровая электронная микроскопия (Сохет), элементный микроанализ, математическая обработка данных с расчетом стандартных отклонений, графическая аппроксимация данных испытаний стандартными программными средствами.

Результаты. Получены новые данные о структуре, физических, в т.ч. реологических и химических свойствах белковых систем. В частности, реограммы свидетельствовали о нелинейном поведении систем, что позволяет их отнести к псевдопластичным коллоидам. Выполнен анализ элементного состава отдельных белковых систем, что выявило наличие микроэлементов (вследствие влияния сырьевого фактора), функции *in vivo* не полностью выяснены.

Выводы. Обоснованы пути решения проблемы сложных, волокнообразующих биополимеров, получены новые данные о структуре и свойствах сырья и продуктов животного происхождения, освещены практические рекомендации по скорейшему применению (по программе импортозамещения) в биотехнологии, пищевых производствах, мясной промышленности, предприятиях по переработке животного сырья.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

белки, питание, качество, продукция пищевая, мясные продукты

Domestic Developments of Protein Systems Such as "Collagen" for Solving the Problems of Industrial Import Substitution

Plekhanov Russian University
of Economics

Alexander Yu. Sokolov

CORRESPONDENCE:

Alexander Yu. Sokolov

Address: 36, Stremyanny lane, Moscow,
117997, Russian Federation
E-mail: alrs@inbox.ru

FOR CITATIONS:

Sokolov, A. Yu. (2023). Domestic developments of protein systems such as "Collagen" for solving the problems of industrial import substitution. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 200–211. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.326>

RECEIVED: 14.11.2022

ACCEPTED: 06.02.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. In the context of solving the protein problem, technological solutions for the rational use of protein resources of animal origin in the food industry, public catering, and the primary processing of raw materials of animal origin are presented, which are extremely relevant for the agro-industrial complex of the Russian Federation in the conditions of a turbulent market and new geopolitical realities. There is a long overdue need for sectoral import substitution in industries processing raw materials of animal origin, in the meat industry, etc. Domestic scientific developments can be used to replace imported dietary supplements, protein supplements, products with the trademark "Collagen", etc.

Purpose. To study the structure and properties of protein systems based on complex biopolymers and to form recommendations for the introduction of domestic developments that have been actively developed in universities and research institutes for 30-40 years.

Research materials: protein systems based on fibrous proteins, biologically active protein additives. "Collagens".

Materials and Methods: To achieve this goal, samples of protein systems based on fibrous proteins obtained in the laboratory by the method of controlled hydrolysis, as well as biologically active protein supplements of the Collagen trademark, were used as an object of testing. The study of rheological, microstructural and other properties was carried out by the following methods: rotational viscometry, optical microscopy, scanning electron microscopy (Coxem), elemental microanalysis, mathematical data processing with calculation of standard deviations, graphical approximation of test data by standard software.

Results. New data on the structure, physical, including rheological and chemical properties of protein systems have been obtained. In particular, the rheograms testified to the nonlinear behavior of the systems, which allows them to be attributed to pseudoplastic colloids. The elemental composition of individual protein systems was analyzed, which revealed the presence of trace elements (due to the influence of the raw material factor), the functions in vivo are not fully elucidated.

Conclusions. The ways of solving the problem of complex, fiber-forming biopolymers are substantiated, new data on the structure and properties of raw materials and animal products are obtained, practical recommendations for early application (under the import substitution program) in biotechnology, food production, meat industry, animal raw materials processing enterprises are highlighted.

KEYWORDS

proteins, nutrition, quality, food products, meat products

ВВЕДЕНИЕ

В профессиональных изданиях последних лет подчеркивается мировое значение исследований проблемы белка в питании, связанной с разработкой функциональных пищевых систем. С середины XX столетия известнейшие ученые (Вейс, Несмеянов, Крауфорд и др.) изучали *проблему белка*, разрабатывали новые формы пищи (синтез) с целью выполнения продовольственной программы, что позволило обеспечить население продовольствием. Так, например, акад. А.Н. Несмеянов на базе достижений прикладной химии предложил искусственные продукты питания, структурированную икру, которую можно и сегодня увидеть в торговых сетях. Примерно в тоже время (в 1960-е гг.) на Западе также наблюдался бум в исследованиях пищевого белка.

В рамках настоящей работы мы можем выделить проблему рационального использования сырьевых ресурсов промышленности, их технологической проработки и создания как белковых компонентов рациона, так и частных технологий мясных продуктов. Далее, интересны и смежные вопросы, например, совершенствование технологий кормов для домашних животных.

Отметим, что только в 1980-х гг. в бывшем СССР принята официально *продовольственная программа*¹, призванная обеспечить приведение в соответствие реального состояния питания с научно обоснованными нормами питания. В 1990-х гг. производство продуктов питания резко снизилось и обострилась продовольственная ситуация, хлынул поток импорта. Однако, в 2000-х ситуация начала улучшаться; отметим существенный интерес государства к мясной проблеме; был принят ряд мер для поддержки АПК — приоритетный национальный проект «Развитие АПК».

Несмотря на меры государственной поддержки, до настоящего времени белковая проблема не полностью (неэффективно) решена. Здесь влияют несколько причин, в первую очередь, недостаток сырьевых ресурсов, особенно высококачественного белка.

Цель — изучить структуру и свойства белковых систем на основе структурообразующих биополиме-

ров и сформировать рекомендации для внедрения отечественных разработок, активно разрабатываемых в отечественных вузах и НИИ на протяжении последних 30 лет.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Анализ ресурсов пищевого белка

В связи с актуальностью поставленных во введении проблем, в настоящей работе выполнен анализ *ресурсов пищевого белка*, эффективность производства и использования ключевых белоксодержащих продуктов растительного и животного происхождения. Это дает основу для прогнозов развития производства продукции сельского хозяйства до 2030 г, как это предусмотрено с стратегиях развития АПК РФ. Дело в том, что в пищевых производствах серьезная роль отводится вовлечению в оборот *растительных протеинов*, в том числе соевых белковых источников, видимо, в основном, по экономическим причинам. Это, в частности, нетрадиционные виды растительного сырья, из которых вырабатывают функциональные пищевые ингредиенты (Некрасова & Попов, 2020; Gorlov et al., 2018; Li et al., 2013).

Производство скота и птицы в стране по итогам 2019 г. сохраняло малую позитивную динамику, увеличившись всего на 1,9% (Осянин & Петрунина, 2020). Далее, учитывая сложившиеся тенденции, взгляд разработчиков в основном был обращен на сою и продукты ее переработки, некоторые виды зернобобовых (Макарова & Пасько, 2020; Titov et al., 2019). Однако, растительные белки имеют более низкую биологическую ценность, чем животные. Кроме того, переваримость растительных белков составляет 54–75%, а животных — 69–95%, то есть преимущество последних в 1,3 раза.

Функциональные продукты питания

Функциональные продукты питания характеризуются их особыми свойствами, формируемыми за счет использования макро- и микроингредиентов животного и растительного происхождения. Первостепенное значение имеют белковые биополимеры, как правило, преобладающие в составе сы-

¹ Академик. Словари и энциклопедии. https://demography.academic.ru/2301/продовольственная_программа

рья животного происхождения. В рамках решаемых задач фигурируют белки различных групп, в том числе и протеиноиды — белки животных опорных тканей, в т.ч. коллаген, кератин, получают которые, если необходимо, экстракцией из тканей методом гидролиза сырья; нейтрализуют, сушат, фасуют и т.д.

Известно (Божкова, 2020; Зубцов, 2020; Некрасова, 2020; Titov, 2019), что основной путь создания рецептур функционального питания — это обогащение традиционных пищевых систем биологических активными веществами, пищевыми волокнами, полипептидами и т.п. При этом считают (Некрасова и др., 2020) наиболее эффективным использовать экстракты растительного происхождения. Так, например, функциональные растительные ингредиенты (добавка из сухой крапивы) вносят в состав фаршевых мясных продуктов в количестве 2% от массы мяса. Однако, есть требования стандартов, в частности, ГОСТ Р 52349² Продукты пищевые функциональные, которые носят универсальный характер и которые рекомендуют к применению.

Актуальны задачи создания и использования *белково-жировых композиций*, обогащающих продукцию микроэлементами, например, йодом (Зубцов, 2020). Так, в рецептуре колбасок для жарки использовали белково-углеводный комплекс, что улучшило параметры качества продукции и придало ей функциональные свойства, кроме того, был расширен ассортимент изделий (Божкова и соавт., 2020).

Созданы технологии консервов из сердец животных и растительного сырья (Митряшкина и соавт., 2020). В их составе преобладали (60÷65%) указанные субпродукты. Дополнительно применяли фасоль и овощи. Консервы имели высокие сенсорные свойства. Массовая доля белка находилась в диапазоне 11–13%, жира — примерно 8–9%. Кроме того, содержание коллагенообразующих аминокислот (глицин, оксипролин, пролин) составило около 0,9%, что придает продукции функциональный характер за счет природных особенностей биополимеров. Также в этой продукции содержались полезные микроэлементы (в основном, Fe).

Известно, что вышеуказанные аминокислоты влияют на биосинтез соединительной ткани *in vivo*.

И автор настоящей статьи соглашается с этим тезисом. Однако продолжается дискуссия о том, насколько значителен вклад коллагенообразующих аминокислот в белковый обмен и способны ли они «встраиваться» в соединительные ткани, компенсируя недостаток (например, связанный с возрастом) белков группы коллагена, эластина и т.п. Однако, несмотря на высказанные сомнения, получает развитие «коллагеновая диета», когда в рацион вносят в существенных количествах белковые ингредиенты, бульоны, консоме, поддерживающие ослабленный организм (Акс, 2021).

В связи с вышесказанным, можно прогнозировать важность белковых добавок и продуктов в *геродиетическом питании*. Однако, в качестве обогащающих добавок традиционно применяют в большей мере продукты промышленной переработки семян тыквы и гороха; доза внесения последних 10% (Кобыляцкий и соавт., 2020).

На сегодня производство белков развито в основном за рубежом (80%), а в России доля производства таковых — 20% и, кроме того, массовое, научно обоснованное производство белков почти не развито (Сухов, 2020). При этом за рубежом внедрены удобные к употреблению пептидные добавки, например, Collagen in balance (Biodam, Южная Корея), «Коллаген гидролизированный», «ВкусВилл» (при этом собственно коллагены I и III типов производят во Франции и Китае). Такие добавки позиционируют как спортивные и активно продвигают на отраслевых выставках («Продэкспо»); они удобно порционированы в стикеры либо в банки, и их можно добавлять/порционировать в напитки, кефир, смузи, что важно для профилактического и фитнес-питания. Практические результаты исследований проблемы белка выразились в создании технологий искусственных белковых продуктов химического и микробиологического синтеза. Значительные усилия авторов уделяются разработке высокобелковых смесей (до 80% белка). Очевидно, что из порядка 100 ингредиентов пищи приоритет в оптимизации рационов остается за белком, — источником незаменимых пищевых факторов (особенно 8 эссенциальных аминокислот), что весьма важно для растущего организма, предотвращения заболеваний, а именно, квашиоркора, тяжелых случаев потери массы тела и т.п.

² ГОСТ Р 52349-2005. (2008). *Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения*. М.: Стандартинформ.

Современные принципы создания рецептур предусматривают оптимальную сочетаемость ингредиентов, что использовано в разработке сбалансированных фаршей из мяса птицы (Царегородцева, 2020). В составы фаршей включали полноценные животные белки и жиры из мясных и молочных продуктов. Из фаршевых систем формовали колбаски для гриля. Одной из задач этого исследования являлась стабилизация пищевых систем за счет белков из субпродуктов (сердце свиное, печень куриная) и молочного сырья (сыр). В результате, обеспечивалось высокое качество, прежде всего, внешний вид, запах и вкус, консистенция, сочность при меньших затратах в себестоимости.

Очевидно, что в последние годы крайне перспективен ферментативный гидролиз сложного по структуре сырья, субпродуктов, в том числе рубца. Поэтому, предложен подход к биотехнологической обработке коллагенсодержащего сырья и субпродуктов (рубца), способствующей более полной гидролизации белков и сохранению аминокислот. Метод включал выдержку в рассоле на базе молочной сыворотки. При этом исключается нейтрализация, в отличие от «химических» способов обработки в средах с широким диапазоном pH (Гиро и соавт., 2020).

Разработаны принципы переработки субпродуктов (рубца) с помощью лизата из цельного сычуга КРС для последующего включения белкового модификатора в рецептуры колбас; установлено, что наибольший уровень внесения модифицированного рубца составляет 15%. Такой способ обеспечит надлежащее качество продукции, при экономии затрат на сырье; стабилизацию органолептических свойств готового «высокобелкового» продукта (Danilov et. al, 2018).

В результате переработки белкового сырья стремятся получить удобные в применении препараты или продукты, например, пленки или пористые структуры, которые еще недостаточно изучены (Рапис, 2004; Сухов, 2020).

С учетом представленного обзора и результатов собственных исследований (Titov et. al., 2019) выявлена перспективность биополимеров группы коллагена как факторов формирования высоких товарных свойств продуктов питания животного происхождения^{3,4}.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследований являлись сырье мясное, белки животные различных групп (источники биополимеров, в т.ч. биоактивных), вспомогательные ингредиенты пищевого назначения. Одним из элементов разрабатываемой технологии являлся этап обработки сырья в средах с регулируемым уровнем pH, что позволяло решать задачи разрыхления, очистки, оптимизации реологических и химических свойств. Дальнейшие термотропные процессы приводили к получению продуктов, относительно однородных по структуре и свойствам, что позволило разработать проекты технических условий и технологических инструкций, держателем которых является автор.

Продукция — пищевые добавки, в т.ч. белки животные, которые возможно перевести (сублимировать, диспергировать) в композиты, микрокристаллы, волокна, структурные ансамбли, что, направлено на оптимизацию рецептурных смесей и, соответственно, рационов. В мясной промышленности полученные белки могут быть внесены в рецептуры колбасных изделий, мясных рубленых полуфабрикатов, продукции снековой группы.

Отбор проб сырья и продуктов выполнялся согласно стандартным требованиям (требования ТУ и ГОСТ, включая контроль массы, температуры, перемешивание, фасовку и т.д.).

³ Апраксина, С. К., Васильева, И. О., Грищенко, В. М., Емельяненко, В. И., Лихачев, Я. А., Митасева, Л. Ф., Соколов, А. Ю., & Титов, Е. И. (2013). Патент РФ № 2478299. *Способ получения коллагенсодержащей матрицы для иммобилизации биологически активных веществ*. М.: Московский государственный университет пищевых производств.

⁴ Безряднова, А. С., Беспалова, О. В., Мясникова, Е. Н., & Соколов, А. Ю. (2014). Патент РФ № 2581242. *Способ производства мясосодержащих рубленых полуфабрикатов из свинины, завернутых в растительный лист*. М.: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова.

Оборудование и приборы

Для исследований были задействованы вискозиметр ротационный «Полимер РПЭ-1М», сконструированный ОКБ «Химавтоматика» с целью стандартизированного измерения вязкости структурированных жидкостей согласно ГОСТ 25276⁵.

Анализ микроструктурных особенностей выполнен с помощью сканирующего электронного микроскопа фирмы Сохет EM-30AX+ с фирменным аппаратно-программным комплексом для анализа гистологических изображений. Диапазон увеличений СЭМ $20\times \div 15000\times$. При измерениях размерных параметров элементов структуры используется шкала в микрометрах. Принцип ЭДС-детектирования UltraDry Compact позволяет выполнить элементный анализ и картирование образцов.

Комплект стандартных приборов и материалов для целей аналитической белковой химии.

Измерения динамической вязкости белковой среды было выполнено с помощью вискозиметра ротационного «Полимер РПЭ-1М», обеспечивающего измерение вязкости в диапазоне от $1,8\times 10^{-3}$ до $3,75\times 10^4$ Па·с со стандартными воспринимающими элементами типа «цилиндр-цилиндр T1–B1». Вискозиметр позволяет измерять реологические показатели различных материалов по ГОСТ 25276 и строить зависимости вязкости от скорости сдвига.

Методики испытаний

Объем пробы раствора белка (после предварительного гидролиза), доведенной до однородного состояния, для реологических испытаний составлял около 20 см³. Все измерения выполнялись при стандартной температуре лаборатории. Ротационный вискозиметр автоматически формирует результаты измерения вязкости с цифровой индикацией данных в паскаль-секундах, далее в табличном процессоре строится реограмма.

Очевидно, что физические свойства пищевых сред зависят, главным образом, от их микроструктуры. Исследование микроструктурных особенностей объектов исследования выполняли общепринятыми методами световой микроскопии. Анализ микроструктуры проводили в соответствии с ГОСТ 19496-2013 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования»⁶ и методиками, представленными в руководстве «Микроскопическая техника» под редакцией Саркисова и Перова⁷.

Сканирующая электронная микроскопия образцов белковых препаратов выполнялась согласно принципам исследований бионаноматериалов, согласно монографии Жу, Уанга, 2013 и др. на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Сохет EM-30AX+ (Южная Корея); данная установка позволяла также выполнять автоматический рентгеновский микроанализ элементного состава.

Анализ данных

Обработка экспериментальных данных произведена в программе управления РЭМ, поставляемая компанией Сохет⁸. Графики изменения вязкости были построены в стандартной программе Excel 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мы выбрали сырье (животного происхождения), богатое белками, в том числе протеиноидами, массовая доля которых составляла 73% в пересчете на сухой вес. Выполнялся, в частности, анализ химического состава, аминокислотного состава, содержания элементов, а также гистологического строения и т.д.

Способ получения целевого продукта — белкового продукта заключался в направленном гидролизе в средах с регулируемыми значениями pH (сочетание кислотно-основной обработки при условии

⁵ ГОСТ 25276-82. (2015). *Полимеры. Метод определения вязкости ротационным вискозиметром при определенной скорости сдвига*. М.: Стандартиформ.

⁶ ГОСТ 19496-2013. (2013). *Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования*. М.: Стандартиформ.

⁷ Саркисов, Д. С., & Перов, Ю. Л. (Ред.). (1996). *Микроскопическая техника: Руководство*. М.: Медицина.

⁸ Otec. *Группа компаний*. <https://www.coxem.ru/catalog/rastrovye-elektronnye-mikroskopy/em-30ax-plus/>.

применения регуляторов кислотности, разрешенных в пищевых целях). Режимы обработок позволяли получить продукт, частично гидролизированный, без существенных деструкционных изменений природных биополимеров группы коллагена. При необходимости, белковый продукт может быть диспергирован до жидкого состояния или высушен для удобства логистических операций и технологических применений.

Анализ реологических свойств белковых систем

Очевидно, что технологи-практики сталкиваются с проблемой придания пищевым системам однородного состояния, это достигается за счет различных приемов. В лабораторных исследованиях доступен способ диспергирования систем в водных растворах оснований при условии дальнейшей нейтрализации. При диспергировании белкового продукта в воде реологические свойства изученных жидких сред в общем виде соответствовали таковым же для стандартизированных (представленных в литературе) пластифицированных биологических материалов. На графиках (Рисунок 1) представлены реограммы для коллоидных растворов белков группы коллагена, с массовой долей сухого вещества около 10 %.

При этом одна линия показывает реологическое поведения биополимеров до тепловой обработки (моделирующей термообработку фаршевых мясных систем), а вторая — после ее завершения. За счет процесса термотропного студнеобразования, динамическая вязкость жидких пищевых систем повышалась примерно на порядок.

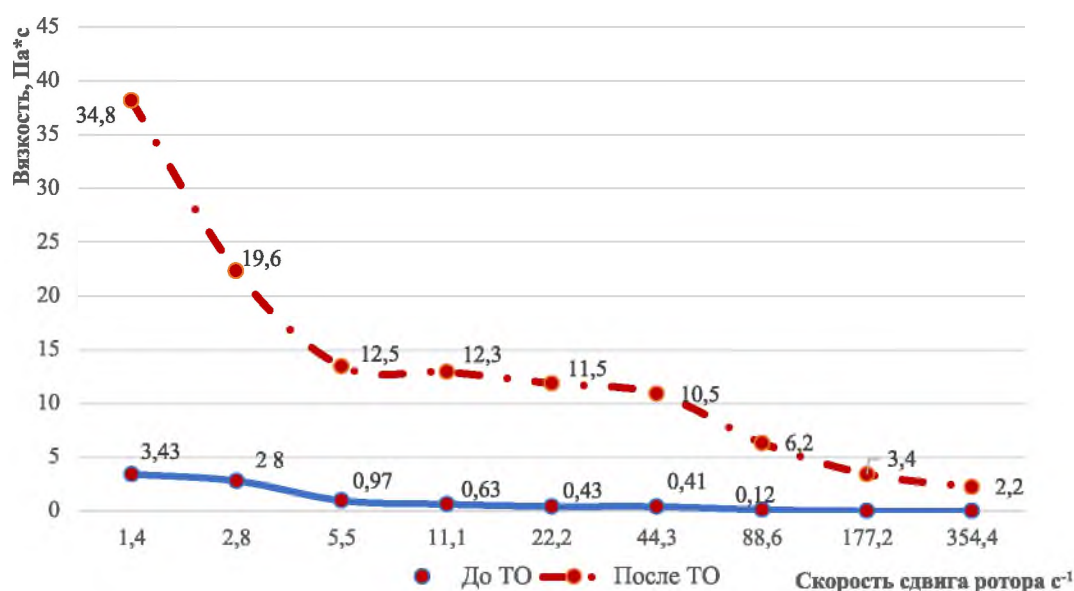
Реограммы свидетельствовали о нелинейном поведении систем, что позволяет их отнести к псевдопластичным коллоидам с зависимостью динамической вязкости от технологических факторов.

Изучение свойств белковых систем в зависимости от особенностей белковой матрицы

В развитие задачи исследования реологических свойств белковых систем, были проанализированы эти свойства для контрольных и опытных студнеобразных сред. Контрольный вариант предусматривал варку коллагенсодержащего сырья в воде (ЖК 1:3) до температуры в геометрическом центре образцов $71 \pm 1^\circ\text{C}$ и охлаждение его (τ 6 ч; t варочной жидкости $95\text{--}99^\circ\text{C}$) по технологии студней по сборнику рецептур мясных продуктов. Опытный вариант предусматривал модельную варку систем (БС:вода) при аналогичных условиях.

Рисунок 1

Изменение динамической вязкости белковых сред до и после их тепловой обработки



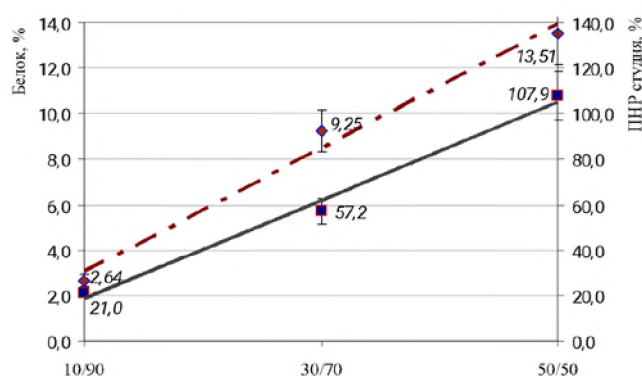
Стандартные технологические режимы обеспечивают формирование каркаса студня с высокой прочностью. Они включали модифицированное путем частичного гидролиза по запатентованному способу сырье, т.е. белковую систему из свиных шкур (БС) и воду. Соотношения БС:вода (10:90, 30:70, 50:50 % по массе) при получении таких систем выбраны исходя из вышеуказанных физико-химических особенностей как относительно разбавленных, так и концентрированных коллоидов, переходящих после термообработки в студни.

Наиболее чувствительный к изменениям технологических режимов показатель качества студней — предельное напряжение разрушения (ПНР), который отражает, главным образом, прочность каркаса студня. Этот показатель практически линейно зависит от содержания белка, при относительной погрешности эксперимента около 10 % (Рисунок 2).

На основании вискозиметрических измерений рассчитано значение молекулярной массы белка, составившее ≈ 193 кДа, что свидетельствует о формировании в результате комплекса обработок полипептидов, подобных β -частицам. Молекулярная масса желатина, получаемого из шкур (коллаген I типа), колеблется от 62 до 320 кДа. Тропоколлаген характеризуется показателем средней молекулярной массы 285 кДа. Если предельное число вязкости составляет около 0,75, то вполне вероятно наличие α -, β -, γ -полипептидов, скорее всего, доминировали ассоциаты из двух связанных β -цепей. Профессо-

Рисунок 2

Содержание белка и предельное напряжение разрушения в образцах белковая система-вода с различным соотношением этих компонентов



рами Вейсом, Михайловым было показано, что молекулярная масса отдельных полипептидных цепей, образуемых при химической и термической дезагрегации коллагена, составляет в диапазоне 80÷125 кДа (Вейс, 1971; Лищенко, 2006; Кобыляцкий и соавт., 2020).

Учитывая научно обоснованные нормы внесения белковых добавок в мясные системы на уровне 10 %, в этой работе целесообразен такой же уровень замены мясного сырья на белковый продукт.

Сравнительный анализ полученных гидролизированных белков и БАДов (спортивное питание), представленных в торговых сетях

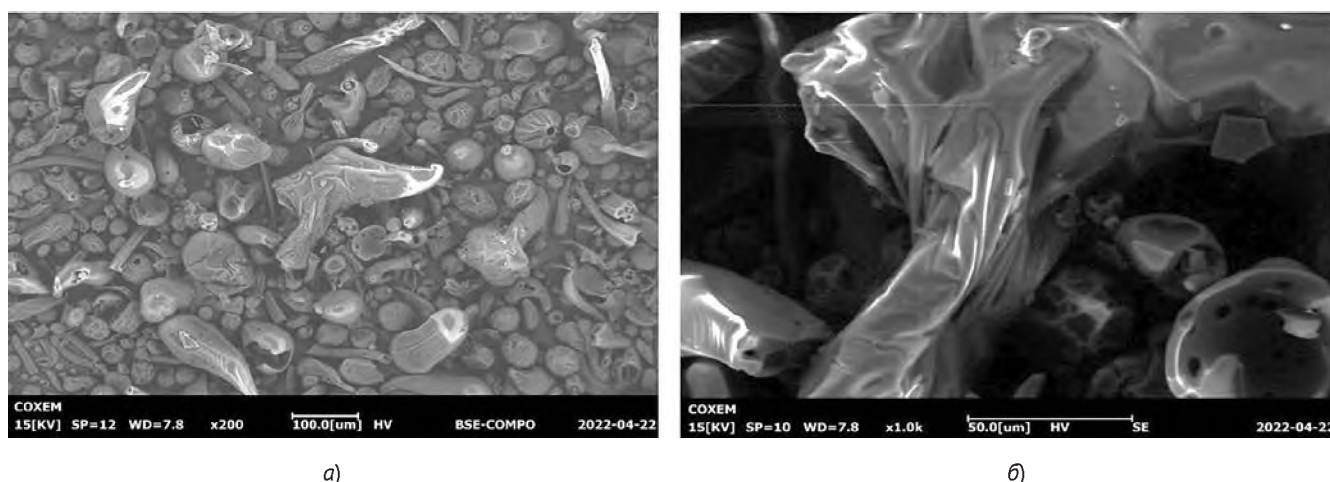
На следующем этапе работы для сравнительного анализа при разработках новых продуктов и придания им необходимых товарных свойств, был исследован белок — коллаген гидролизированный для спортивного питания (Ironman). Под микроскопом были выявлены частицы различных фракций по размерам. Кроме того, очевидно, что они подверглись значительной термической обработке, что связано с их «взорванной» структурой. В поле зрения светового микроскопа в отраженном свете хорошо заметны частицы округлой формы, вспененные в результате интенсивного нагрева и быстрого испарения влаги.

Видимо, можно предполагать, что интенсивная термообработка связана с обеспечением растворимости данной функциональной добавки и необходимостью соблюдения программы контроля безопасности согласно концепции ХАССП, внедренной на предприятии-изготовителе.

Исследования методами световой и электронной микроскопии выявили структуры, характерные для термообработанных продуктов. В частности, метод РЭМ подтвердил высказанное предположение и влияние механических и тепловых процессов обработки на характерную морфологию частиц. Последние представлены не фракционированными субстанциями с различной формой и ультраструктурой, на которую повлияли, видимо, как природные особенности, так и высокотемпературная обработка, приводившая к своего рода «взрыву» частиц.

Рисунок 3

Ультраструктура белка гидролизованного: а) 200×; б) 1000×



Кроме специфики ультраструктуры белка гидролизованного, методом микроанализа элементов было установлено наличие элементов (Таблица 1).

Таблица 1

Элементный состав белка гидролизованного для спорт. питания

Элемент	Массовая доля, %	Отклонение (±) от среднего значения
Углерод (C)	53,1	7,5
Кислород (O)	44,39	7,3
Алюминий (Al)	0,91	0,09
Сера (S)	0,73	0,07
Натрий (Na)	0,60	0,09
Кальций (Ca)	0,28	0,05
Итого:	100,0	—

Элементный состав (в данных испытаниях метод позволял изучить «легкие» элементы) не вызывает как-либо серьезных вопросов. Однако, наличие алюминия, по видимому, связано с «сырьевым» фактором, поскольку, например, в шкуре свиной, являющейся часто используемым сырьем — источ-

ником коллагена I типа, был обнаружен этот же элемент.

Алюминий, в отличие от таких микроэлементов, как железо, медь, марганец и т.п., существенного значения в пищевом отношении не имеет. Из книги Ю.А. Тырсина и др. известно, что, в частности, алюминий является антагонистом брома (Тырсин и соавт., 2012).

Таким образом, в данной статье, направленной на обобщение результатов собственных исследований (Gorlov et.al., 2018; Titov et. al.; 2019), полученных за последние 10 лет, подтверждается значимость комплексного исследования проблемы сложных белков, от анализа их структуры и свойств, до специфики показателей качества и безопасности^{9,10}.

Вовлечение в хозяйственный оборот неэффективно используемых ресурсов белка животного происхождения повлечет за собой необходимость внедрения методик их исследований и контроля качества, поскольку реальный сектор экономики должен гарантировать соответствие продукции требованиям технических регламентов и норма-

⁹ Апраксина, С. К., Васильева, И. О., Грищенко, В. М., Емельяненко, В. И., Лихачев, Я. А., Митасева, Л. Ф., Соколов, А. Ю., & Титов, Е. И. (2013). Патент РФ № 2478299. Способ получения коллагенсодержащей матрицы для иммобилизации биологически активных веществ. М.: Московский государственный университет пищевых производств.

¹⁰ Безряднова, А. С., Беспалова, О. В., Мясникова, Е. Н., & Соколов, А. Ю. (2014). Патент РФ № 2581242. Способ производства мясосодержащих рубленых полуфабрикатов из свинины, завернутых в растительный лист. М.: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова.

тивных документов. С другой стороны, немало важно и аргументированное, научно обоснованное продвижение новой продукции отечественного производства.

ВЫВОДЫ

Известные технологические решения направлены, главным образом, на применение в технологиях пищевых производств субпродуктов II категории, коллагенсодержащего сырья, шкурки свиной из колбасного производства. Однако, целесообразно вести разработки белковых систем согласно принципу универсального их применения, которые могли бы заместить импортное сырье и добавки из групп «Коллаген», «Аминокислоты» и т.п. Данные продукты поставляют Китай, Великобритания, Франция.

Анализ реограмм изученных белковых систем-гидролизатов показал их поведение, сходное с псевдопластичными коллоидами. В результате направленного гидролиза и последующей тепловой обработки, инициирующей студнеобразование в системах, зафиксировано соответствующее повышение структурно-механических и химических показателей. Вискозиметрические измерения позволили рассчитать молекулярную массу белка, составлявшую около 193 кДа, что может свидетельствовать об образовании β -полипептидов или продуктов, подобных высокомолекулярному желатину, молекулярная масса которого достигает 320 кДа.

Детальный анализ ультраструктур белковых молекул сложного строения позволит с точек зрения микро- и наномасштабов «увидеть» архитектуру и понять механизм направленного гидролиза протеиноидов; возможно использование результатов для формирования атласа для идентификации белковых структур. Так, микроструктурное изучение белка одной из марок, предназначенного для спортивного питания, произведенного во Франции, показало своеобразную ультраструктуру, что обусловлено, видимо, термической обработкой, испарением влаги, фракционным характером данного белка.

В заключение целесообразно обратить внимание специалистов, практических работников на отечественные научные направления совершенствования технологий за счет рационального применения сырья, переработки их в инновационные компоненты (специально подготовленные, очищенные белки, биополимеры, их комплексы с БАВ), оборудование, упаковку и т.д.

Это повысит технико-экономические показатели за счет сбалансированности рецептур, использования более дешевых, весьма ресурсных ингредиентов в рациональных сочетаниях, принципов взаимозаменяемости рецептурных компонентов и стабилизации качества продукции.

При этом продукция может быть самой разнообразной по форме, текстуре, массовой доле влаги, белка и других веществ, что расширяет возможности фасовки и упаковки, вкусо-ароматическим и другим потребительским свойствам.

Перспективны для внедрения способы получения белкового продукта из коллагенсодержащего сырья для мясной промышленности, производства коллагенсодержащей матрицы для иммобилизации БАВ, способ производства мясосодержащих рубленых полуфабрикатов из свинины, завернутых в растительный лист и др.

Предполагается дальнейшее развитие темы исследований биополимеров-белков с учетом заинтересованных сторон, включая бизнес-сообщество, а именно, предприятий, внедряющих новые научные технологии.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Соколов Александр Юрьевич — концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, подготовка черновика рукописи, проведение исследования, валидация данных, редактирование рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Акс, Д. (2021) *Коллагеновая диета*. М.: АСТ.
- Божкова, С. Е., Храмова, В. Н., Сложенкина, М. И., Максименкина, Е. А., & Бараников, В. А. (2020). Инновационная рецептура колбасок для жарки «Нежные». *Аграрно-пищевые инновации*, (2), 71–80. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-10-71-80>
- Вейс, А. (1971). Макромолекулярная химия желатина. М.: *Пищевая промышленность*.
- Гиро, Т. М., Хвыля, С. И., Рогожин, А. А., & Гиро, А. В. Переработка коллагенсодержащих субпродуктов мелкого рогатого скота. В *Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов: Сборник научных трудов к 90-летию Всероссийского научно-исследовательского института холодильной промышленности* (с. 63–72). М.: Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности.
- Зубцов, Ю. Н. (2020). Совершенствование технологии кулинарной продукции для профилактики йододефицита. Орел: ОрелГУЭТ.
- Лищенко, В. Ф. (2006). *Мировая продовольственная проблема: белковые ресурсы* (1960–2005 гг.). М.: ДеЛи принт.
- Кобыляцкий, П. С., Скрипин, П. В., & Тарасова, Д. М. (2020). К вопросу разработки технологии комбинированных мясных продуктов для геродиетического питания. В *Инновации в производстве продуктов питания: от селекции животных до технологии пищевых производств: Материалы Международной научно-практической конференции* (с.138–141). Персиановский: Донской государственный аграрный университет.
- Макарова, А. А., & Пасько, О. В. Состояние мирового производства растительного сырья как перспективного источника белка для аналоговой мясной продукции. *Вестник Южно-Уральского государственного университета*, 8(3), 12–20.
- Митрашкина, О. А., Шульгина, Л. В., & Шульгин, Ю. П. (2020). Консервированные продукты из сердец животных как источники коллагена и железа. *Индустрия питания*, 5(3), 44–51. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-3-5>
- Некрасова, К. Л., & Попов, В. Г. (2020). Научный подход в производстве функциональных пищевых ингредиентов на основе нетрадиционного растительного сырья. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 82(2), 77–82. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-77-82>
- Осянин, Д. Н., & Петрунина, И. В. (2020). Анализ сырьевой базы предприятий мясной промышленности. *Мясная индустрия*, (4), 16–21.
- Рапис, Е. (2004). Самоорганизация и супермолекулярная химия пленки белка от нано- о макромасштаба. *Журнал технической физики*, (4), 117–122.
- Сухов, И. В. (2020). *Коллагеновые пористые материалы рыбного происхождения: Обоснование технологии, свойства, перспективы применения* [Кандидатская диссертация, Воронежский государственный университет инженерных технологий]. Воронеж, Россия.
- Царегородцева, Е. В. (2020). Опыт создания сбалансированных рубленых фаршей. *Все о мясе*, (5), 390–394.
- Тырсин, Ю. А., Кролевец, А. А., & Чижик, А. С. (2012). *Микро- и макроэлементы в питании*. М.: ДеЛи плюс.
- Danilov, A. M., Bazhenova, B. A., & Danilov, M. B. (2018). Study of lysate activity to modificate collagen raw materials to use in sausage mixture. *Foods and Raw Materials*, 6(2), 256–263. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-256-263>
- Gorlov, I. F., Titov, E. I., Semenov, G. V., Solzhenkina, M. I., Sokolov, A. Yu., Omarov, R. S., Goncharov, A. I., Zlobina, E., Y., Litvinova, E. V., & Karpenko, E. V. (2018). Collagen from porcine skin: a method of extraction and structural properties. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1031–1042. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1466324>
- Titov, E. I., Sokolov, A. Y., Litvinova, E. V., Kidyayev, S. N., Shishkina, D. I., & Baranov, B. A. (2019). Dietary fibres in preventanive meat products. *Foods and Raw Materials*, 7(2), 387–395. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-387-395>
- Li, Y., & Douglas, E. P. (2013). Effects of various salts on structural polymorphism of reconstituted type I collagen fibrils. *Colloids and Surfaces: Biointerfaces*, 112, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2013.07.037>
- Производство продукции животноводства и поголовье скота в хозяйствах всех категорий: бюллетень. — Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/search?q=производство+скота+и+птицы>

REFERENCES

- Aks, D. *Kollagenovaya dieta* [Collagen Diet]. Moscow: AST.
- Bozhkova, S. E., Khramova, V. N., Slozhenkina, M. I., Maksimenkina, E. A., & Baranikov, V. A. (2020). Innovatsionnaya retseptura kolbasok dlya zharki “Nezhnye” [Innovative recipe of sausages for frying “Tender”]. *Agrarno-pishchevye innovatsii* [Agricultural and Food Innovations], (2), 71–80. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-10-71-80>
- Giro, T. M., Khvylya, S. I., Rogozhin, A. A., & Giro, A. V. Pererabotka kollagensoderzhashchikh subproduktov melkogo rogatogo skota [Processing of collagen-containing by-products of small cattle]. In *Innovatsionnye tekhnologii obrabotki i khraneniya sel'skhozyaistvennogo syr'ya i pishchevykh produktov: Sbornik nauchnykh trudov k 90-letiyu Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut kholodil'noi promyshlennosti* [Innovative technologies of processing and

- storage of agricultural raw materials and food products: Collection of scientific papers for the 90th anniversary of the All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry] (pp. 63–72). Moscow: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut kholodil'noi promyshlennosti.
- Kobylyatskii, P. S., Skripin, P. V., & Tarasova, D. M. (2020). K voprosu razrabotki tekhnologii kombinirovannykh myasnykh produktov dlya gerodieticheskogo pitaniya [On the issue of developing the technology of combined meat products for herodietic nutrition]. In *Innovatsii v proizvodstve produktov pitaniya: Ot selektsii zhivotnykh do tekhnologii pishchevykh proizvodstv: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Innovations in food production: From animal breeding to food production technology: Materials of the International Scientific and Practical Conference] (pp. 138–141). Persianovskii: Donskoi gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Lishchenko, V. F. (2006). *Mirovaya prodovol'stvennaya problema: Belkovye resursy (1960–2005 gg.)* [The world food problem: Protein resources (1960–2005)]. Moscow: DeLi print.
- Makarova, A. A., & Pas'ko, O. V. Sostoyanie mirovogo proizvodstva rastitel'nogo syr'ya kak perspektivnogo istochnika belka dlya analogovoi myasnoi produktsii [The state of the world production of vegetable raw materials as a promising source of protein for analog meat products]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State University], 8(3), 12–20.
- Mitryashkina, O. A., Shul'gina, L. V., & Shul'gin, Yu. P. (2020). Konservirovannye produkty iz serdets zhivotnykh kak istochniki kollagena i zheleza [Canned products from animal hearts as sources of collagen and iron]. *Industriya pitaniya* [Food Industry], 5(3), 44–51. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-3-5>
- Nekrasova, K. L., & Popov, V. G. (2020). Nauchnyi podkhod v proizvodstve funktsional'nykh pishchevykh ingredientov na osnove netraditsionnogo rastitel'nogo syr'ya [Scientific approach in the production of functional food ingredients based on non-traditional plant raw materials]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 82(2), 77–82. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-77-82>
- Osyenin, D. N., & Petrunina, I. V. (2020). Analiz syr'evoi bazy predpriyatii myasnoi promyshlennosti [Analysis of the raw material base of meat industry enterprises]. *Myasnaya industriya* [Meat Industry], (4), 16–21.
- Rapis, E. (2004). Samoorganizatsiya i supermolekulyarnaya khimiya plenki belka ot nano- o makromasshtaba [Self-organization and supermolecular chemistry of the protein film from the nano- o macro scale]. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki* [Journal of Technical Physics], (4), 117–122.
- Sukhov, I. V. (2020). *Kollagenovye poristye materialy rybnogo proiskhozhdeniya: Obosnovanie tekhnologii, svoistva, perspektivy primeneniya* [Collagen porous materials of fish origin: Substantiation of technology, properties, application prospects] [Candidate Dissertation, Voronezhskii gosudarstvennyi universitet inzhenernykh tekhnologii]. Voronezh, Russia.
- Tsaregorodtseva, E. V. (2020). Opyt sozdaniya sbalansirovannykh rublenykh farshei [Experience in creating balanced minced meat]. *Vse o myase* [All about Meat], (5), 390–394.
- Tyrin, Yu. A., Krolevets, A. A., & Chizhik, A. S. (2012). *Mikro- i makroelementy v pitanii* [Micro- and macronutrients in nutrition]. Moscow: DeLi plyus.
- Veis, A. (1971). *Makromolekulyarnaya khimiya zhelatiny* [Macromolecular Chemistry of Gelatin]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'.
- Zubtsov, Yu. N. (2020). *Sovershenstvovanie tekhnologii kulinarnoi produktsii dlya profilaktiki iododefitsita* [Improving the technology of culinary products for the prevention of iodine deficiency]. Orel: OrelGUET.
- Danilov, A. M., Bazhenova, B. A., & Danilov, M. B. (2018). Study of lysate activity to modificate collagene raw materials to use in sausage mixture. *Foods and Raw Materials*, 6(2), 256–263. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-256-263>
- Gorlov, I. F., Titov, E. I., Semenov, G. V., Solzhenkina, M. I., Sokolov, A. Yu., Omarov, R. S., Goncharov, A. I., Zlobina, E., Y., Litvinova, E. V., & Karpenko, E. V. (2018). Collagen from porcine skin: a method of extraction and structural properties. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1031–1042. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1466324>
- Titov, E. I., Sokolov, A. Y., Litvinova, E. V., Kidyaev, S. N., Shishkina, D. I., & Baranov, B. A. (2019). Dietary fibres in preventative meat products. *Foods and Raw Materials*, 7(2), 387–395. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-387-395>
- Li, Y., & Douglas, E. P. (2013). Effects of various salts on structural polymorphism of reconstituted type I collagen fibrils. *Colloids and Surfaces: Biointerfaces*, 112, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2013.07.037>
- Proizvodstvo produktsii zhivotnovodstva i pogolov'e skota v hozjajstvakh vsekh kategorij: bjulleten'. — Rezhim dostupa: <https://rosstat.gov.ru/search?q=производство+скота+и+птицы>