

ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПТИЦЕВОДСТВА ДЛЯ РАЗНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ* (обзор)

В.И. ФИСИНИН, Д.Ю. ИСМАИЛОВА, В.Г. ВОЛИК, В.С. ЛУКАШЕНКО,
И.П. САЛЕЕВА

Конкурентоспособность технологий мясоперерабатывающего производства связана с организацией глубокой переработки белоксодержащего сырья. В тушах животных и птицы на соединительные ткани приходится 16 %, что составляет значительный сырьевой ресурс. У птицы в качестве вторичного коллагенсодержащего сырья исследовали кожу (J. Stachowiak с соавт., 2004), шеи и мясокотные остатки после механической обвалки тушек (М.И. Кременевская с соавт., 2016; P.F. De Almeida с соавт., 2013), трахеи кур, уток и страусов (T. Jagoenviriguar с соавт., 2009). Для переработки и выделения коллагена из такого сырья используют кратковременный высокотемпературный гидролиз, гидролиз кислотами (К.А. Munasinghe с соавт., 2014), ферментами — папаином и пепсином (P. Hashim с соавт., 2014), алкалазой и трипсином (Z. Khiaji с соавт., 2014), микробными культурами (А.Ю. Полетаев с соавт., 2011; О.В. Зинина с соавт., 2013). Глубокая переработка вторичного коллагенсодержащего сырья в мясной промышленности позволит снизить существующий дефицит пищевого и кормового белка, расширить ассортимент и увеличить объемы выпуска высококачественных мясных продуктов и легкоусвояемых кормов с низкой себестоимостью, улучшить экологическую ситуацию. Для фармакологии представляют интерес короткие пептиды, регуляторная функция которых известна давно и используется в медицине (А.Д. Неклюдов с соавт., 2007). Их тоже можно выделять при глубокой переработке туш животных и птицы. Значение коллагена в пищевом рационе также связывают с обеспечением аминокислотами, имеющими в молекуле группу —NH (пролин, оксипролин) и необходимыми для формирования тканей (S. Busche, 2011). Различные методы переработки коллагенсодержащего сырья позволяют получать белковые продукты с заданными свойствами для использования в пищевой, кормовой и других отраслях промышленности.

Ключевые слова: коллагенсодержащие вторичные продукты, ферментативный гидролиз, кратковременный высокотемпературный гидролиз.

Одна из базовых концепций современного мирового сельскохозяйственного производства — ресурсосбережение. С этой целью, в частности, ищутся возможности конверсии трудноусвояемых белковых компонентов животного происхождения — коллагена, эластина, ретикулина. При переработке мясных туш животных массовый выход соединительной ткани достигает 16 %. Оценка эффективности технологий переработки коллагенсодержащих субстратов прогнозирует экономию 10–20 % основного сырья при получении полноценных мясных продуктов и 70–100 % — в случае выработки искусственных оболочек и пленок. Использование коллагенового белка снижает себестоимость продукции, потери при термической обработке, позволяет улучшать показатели качества при использовании мясного сырья низкой сортности (1). Многие традиционные технологии уже длительное время применяются для производства белкового стабилизатора из свиной шкурки и говяжьей жилки, ливерных и субпродуктовых колбас, зельцев, студней и др. (1). Коллаген кожи образует прочные гели и может использоваться как желатинирующий агент.

В настоящем обзоре мы обобщили данные о свойствах коллагенсодержащего сырья, способах его переработки и их влиянии на функциональные характеристики коллагена. Особый акцент сделан на использование вторичного белкового сырья, получаемого при переработке птицы, и особенностях белковых продуктов для пищевой индустрии, фармакологии

* Работа была подготовлена при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 17-16-01028).

и кормопроизводства.

Структура и функции коллагена. Специфика аминокислотного состава и пространственной структуры молекул коллагена определяет не только его физиологические функции, но и технологические свойства, в частности устойчивость при выделении, легкость отделения от других компонентов, а также способность к восстановлению из растворов с формированием надмолекулярных структур, что расширяет сферу применения модифицированных коллагеновых продуктов.

Тропоколлаген состоит из трех полипептидных цепей одинакового размера, которые образуют тройную спираль (2, 3) на основе водородных связей с многочисленными межцепочечными сшивками между остатками аминокислот (АК) (каждая полипептидная цепь содержит около 1000 остатков). Сближение цепочек обеспечивается регулярным распределением в них глицина (каждая третья позиция) — единственной аминокислоты, не содержащей β -углерод и не имеющей боковых радикалов. В состав коллагена входят 19 АК, которые в зависимости от строения боковых радикалов разделяются на три группы: неполярные химически инертные АК (глицин, валин, аланин, изолейцин, фенилаланин и пролин), АК, имеющие в составе реакционноспособные группы (серин, треонин, тирозин, метионин, оксипролин), и полярные АК, диссоциирующие, как основания (лизин, оксилизин, аргинин, гистидин) или как кислоты (глутаминовая и аспарагиновая).

Коллагены кожных оболочек содержат большое количество пролина и оксипролина (около 20 %), глицина и аланина (более 50 %), при этом ароматические, гетероциклические и серосодержащие аминокислоты практически отсутствуют (или содержатся в малых количествах, если препарат недостаточно очищен от других белков) (1). Кроме того, коллаген — один из немногих белков, в состав которых входит не только оксипролин, но и оксилизин. Термостабильность тропоколлагеновых единиц и фибрилл повышается с увеличением доли иминокислот пролина и гидроксипролина (4, 5). У рыб, в особенности холодноводных, содержание пролина и гидроксипролина существенно ниже, чем у млекопитающих (5).

Отличительные признаки коллагена — его уникальные механические свойства, химическая инертность, аминокислотный состав и способность превращаться в более низкомолекулярный белковый продукт желатин при длительном нагревании в воде, а также в водных растворах кислот и щелочей. Действие различных факторов изменяет физико-химические свойства коллагена (6).

Белки соединительной ткани, в том числе коллагены, по физиологическому эффекту аналогичны пищевым волокнам, которые обладают выраженной цитопротекторной активностью, нормализуют микробиоценоз кишечника, предотвращают дистрофические изменения эпителия и проницаемость клеточного барьера слизистой оболочки толстой кишки, что снижает вероятность проникновения бактерий, токсинов и полимерных остатков с аллергизирующим действием. Продукты распада коллагена (глютин, желатин и др.) обладают свойством пищевого волокна, стимулируя сокоотделение и перистальтику кишечника, благоприятно влияют на полезную микрофлору (7). Свободные заряженные группы АК в молекуле коллагена, которые локализуются в полярных зонах, чередуясь с гидрофобными участками, способны связывать в пищеварительном тракте ионы тяжелых металлов с последующим образованием нерастворимых комплексов, которые не всасываются и выводятся из организма (5). Доля сорбированных гидролизатом коллагена ионов в кислой ($\text{pH} = 1,2$) и щелочной

(рН = 7,8) среде составляет для Pb^{2+} соответственно 71,00 и 82,00 %, Cd^{2+} — 68,00 и 74,67 %, Cu^{2+} — 25,33 и 50,00 %, Hg^{2+} — 81,2 и 91,00 %. Сорбируемость повышается с увеличением порядкового номера элемента (и, как следствие, ионного радиуса) с максимумом в случае ионов ртути. Механизм связывания точно не установлен, но известно, что для всех белков характерна выраженная способность к неспецифическому связыванию с металлами по гуанидиновой группе аргинина и др. Вероятно, при ферментативной обработке отходов жиловки пептидные цепи разрываются, в результате чего указанные функциональные группы становятся более доступными для реакции с металлами.

Продукты переработки коллагенсодержащего сырья в птицеводстве. Традиционные технологии использования соединительнотканых белков в рецептурах мясных продуктов не дали желаемых результатов (<http://www.pandia.ru/text/category/vovlechenie/>), так как нативные компоненты соединительных тканей имеют низкую органолептическую оценку и функционально неполноценны. Кроме того, из-за губчатой энцефалии крупного рогатого скота (bovine spongiform encephalopathy — BSE) и влияния мусульманских традиций возросла необходимость в более безопасных и приемлемых источниках коллагена.

В России около 20 % птицы поступает на глубокую переработку, в результате которой в год образуется около 650 тыс. т вторичных продуктов. У птицы для выделения коллагеновых белков используют ноги, кожу, шею и кости, но при этом выход продукта ниже, чем в случае крупного рогатого скота и свиней. В соединительной ткани (сухожилия, хрящи, кожа), состоящей в основном из коллагена, не обнаруживается триптофан и мало метионина, эти белки характеризуются как неполноценные и рекомендуются в качестве пищевых волокон для улучшения моторики и функционирования пищеварительного тракта. Мясо без видимой соединительной ткани имеет более низкую биологическую ценность, чем мясо с естественным содержанием соединительной ткани. Это подтверждает целесообразность использования кожи птицы в производстве мясных продуктов.

Субпродукты домашней птицы, в частности кожу, редко перерабатывают в ценные продукты. Описан метод экстракции коллагена, содержащего и не содержащего телопептиды, из куриной кожи (8). Однако куриная кожа может использоваться для производства форм коллагена, который высоко ценится из-за уникальных функциональных свойств. Куриная кожа содержит 75 % коллагена I типа (наиболее прочная архетипичная форма — фибриллярный тримерный белок, собирающийся в тройные спирали без разрывов) и 15 % — коллагена III типа (коллаген дермы эмбриона). При экстракции коллагена пепсином или этилендиамином (после удаления жира при нагревании измельченной куриной кожи до 40-60 °С) полученный продукт имел высокое содержание телопептидов. Таким образом, кожа птицы служит хорошим альтернативным источником высококачественного коллагена.

При механической обвалке тушек птицы или их частей получают 27-40 % мясокостного остатка с содержанием кости 15-20 % и соотношением золы и белка в куриной костной массе 0,7. На полноценные белки приходится 25-30 %, причем большая часть белка и минеральных веществ находится в костной ткани, тогда как влага и жир — в мякотной (9).

Из-за сложного строения куриных шей, для которых тоже характерно высокое содержание мышечной и соединительной ткани, отделение мясной массы от костей практически невозможно. Разработаны техноло-

гии 8-часового гидролиза шей и костного остатка при 100 °С в присутствии неорганического катализатора. Максимальная плотность полученного коллагенового продукта — 123 г/см³. Современные технологии производства вареных и копчено-вареных цельномышечных изделий допускают добавление рассола в сырье. При этом степень его удерживания и продолжительность обработки во многом зависят от скорости диффузии посолочных агентов. Чтобы уменьшить эту скорость, можно использовать смеси коллагеновой и мышечной фракций белковых продуктов мясокостного остатка тушек птицы в разных соотношениях. Введение белковой смеси позволяет повысить выход и пищевую ценность готовой мясной продукции, улучшить ее органолептические показатели и реологические характеристики (10).

Трахеи курицы, утки и страуса могут быть использованы в качестве источника коллагена и хондроитинсульфата (11): показано, что в полученных продуктах белки хряща составляли от 49 до 73 %, хондроитинсульфат (в основном в виде хондроитин-4-сульфата, определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии) — 0,574-6,37 % в пересчете на сухое вещество (больше всего у страуса, ниже — у утки и меньше всего — у кур). Содержание гидроксипролина в коллагене и хондроитинсульфате — соответственно 66,19 и 84,38 %, в сухом веществе — 4,04 и 7,4 %. Выполнено сравнение коллагена, выделенного из куриной бедренной кости и ахиллесового сухожилия коров (12). Желе, полученное на основе коллагена из куриных ног, имело хорошую оценку, что указывает на возможность получать высококачественный желатин из этого вида сырья (13).

Способы переработки и свойства белковых продуктов. Для извлечения коллагена и получения белковых продуктов с повышенной доступностью коллагена из малоценного сырья используют гидротермический, кислотный, щелочной и ферментативный гидролиз. Каждый из перечисленных способов позволяет получать как растворимую форму коллагена, так и денатурированный коллаген. При гидротермической обработке коллаген денатурирует с нарушением специфической конфигурации полипептидных цепей, внутри- и межмолекулярных связей. В результате изменяются размеры и форма коллагеновых волокон. Полный гидролиз коллагена происходит при 126 °С в течение 3 ч. В процессе жесткого кислотного гидролиза полностью разрушается триптофан, подвергаются разрушению и рацемизации оксикислоты, дикарбоновые кислоты и пролин, возникают D-изомеры некоторых заменимых аминокислот, которые не усваиваются клеткой и могут выступать как ингибиторы клеточного роста. При щелочном гидролизе происходит рацемизация большинства аминокислот и разрушение аргинина, лизина, цистина и цистеина. В результате образуется комплекс дефектных токсичных субстратов. Ферментативный гидролиз с помощью протеолитических ферментов лишен перечисленных недостатков кислотного и щелочного гидролизом, и хотя этот тип гидролиза проходит не более чем на 70-80 %, полученные в результате расщепления компоненты физиологичны, легко проникают в клетку и вовлекаются в метаболизм. Ферментативный гидролиз может также осуществляться с использованием живых бактериальных культур-продуцентов.

В США птицеперерабатывающая промышленность — одна из самых быстрорастущих отраслей пищевых производств (14). Изучая содержание коллагена в костях и коже курицы, авторы экстрагировали коллаген уксусной кислотой, лимонной кислотой, щелочью, с применением двухстадийного гидролиза уксусной кислотой и пепсином. Исследование показало высокий потенциал куриных побочных продуктов как альтернативно-

го источника коллагена для получения продуктов с высокой добавленной стоимостью (14).

Разработана многоступенчатая процедура выделения коллагена из куриных костей, позволяющая удалить 87,5 % минеральных веществ и 57,1 % жира при потерях белка почти 18,6 %, гидроксипролина — 14,9 %. Выход коллагена составил почти 85 % от исходного количества, оценено его качество и функциональные свойства (15).

Описано выделение коллагена из куриных ног в растворе уксусной кислоты при 4 °С в течение 24 ч с использованием папаина и пепсина (16) с выходом соответственно 18,16 и 22,94 %. Полученный коллаген содержит большое количество глицина, глутаминовой кислоты, пролина и гидроксипролина. Электрофореграммы образцов выявили наличие двух α -цепей (α_1 и α_2) и β -цепи, то есть основной компонент коллагена куриных ног — это коллаген I типа. В обоих случаях образцы были устойчивы к тепловой денатурации соответственно при 48,40 и 53,35 °С.

Один из перспективных приемов переработки вторичного белоксодержащего сырья — ферментативный гидролиз с применением живых культур микроорганизмов. Ферментативная переработка позволяет практически полностью сохранять все незаменимые аминокислоты. При этом использование готовых ферментных препаратов в промышленных масштабах может быть дорогостоящим и затратным, тогда как внесение живой культуры микроорганизмов позволит снизить стоимость переработки коллагенового сырья (17, 18). Действие микроорганизмов на ткани оценивают по изменению функциональных, технологических, физико-химических и морфологических свойств, пищевой и биологической ценности продукта. Эффективность обработки заквасками микроорганизмов на отдельные структурные элементы тканей, в частности на коллагеновые волокна, подтвердили микроструктурные исследования с использованием гистологических препаратов (19).

Известна высокая способность коллагена к набуханию, на которой основаны его функционально-технологические свойства. Коллагеновые белки обладают неоспоримыми преимуществами по сравнению со структурообразователями растительного происхождения, например каррагинанами и камедями. В отличие от гидроколлоидов растительного происхождения, на свойства которых влияют концентрации поваренной соли, пищевых фосфатов, процесс дефростации и др., коллагены отлично сохраняют и проявляют функциональные свойства в мясных системах (20-22).

Для фармакологии интерес представляют такие компоненты мясного сырья, как короткие пептиды (две аминокислоты и более, молекулярная масса менее 10 кДа). Их регуляторная функция известна давно и используется в медицине (23). Значение коллагена в пищевом рационе также связывают с обеспечением иминокислотами, имеющими в молекуле группу —NH (пролин, оксипролин) и необходимыми для формирования тканей (24). Из вторичных продуктов переработки индейки можно выделять низкомолекулярные биологически активные пептиды при ферментативном гидролизе коллагена. Из голов индейки получают белковые изоляты и нерастворимую биомассу для извлечения коллагена, которую затем гидролизуют ферментами в течение различного времени. Молекулярно-массовое распределение в гидролизатах из голов индейки, изученное с помощью эксклюзионной хроматографии, показало, что смесь протеолитических ферментов позволяет получать огромное количество низкомолекулярных пептидов размером от 555,26 до 2093,74 Да. Эти пептиды коллагена показали хорошую растворимость в диапазоне от pH 2 до pH 8 и могли

связывать желчные кислоты. Гидролиз коллагена смесью ферментов может быть новым способом получения низкомолекулярных биологически активных пептидов из вторичных продуктов переработки птицы (25).

Еще один современный метод переработки коллагенсодержащего сырья, который рассматривается в числе наиболее перспективных, — кратковременный гидротермический гидролиз. Сухие коллагенсодержащие белки, полученные этим способом при переработке мясокостных остатков и куриных ног, полностью растворяются в воде, их перевариваемость выше 95 %, что служит косвенным показателем высокой усвояемости белка. По физико-химическим характеристикам коллагенсодержащие белки из куриных ног выгодно отличаются от животных белков из мясокостных остатков увеличением массовой доли коллагена в сухом белке на 13,8 % и уменьшением содержания жира на 40,0 % (26). Эти результаты показали возможность отечественного производства коллагенсодержащих экстрактов взамен импортируемых добавок животного белка из свиных и говяжьих шкур. К преимуществам кратковременной высокотемпературной обработки сырья относится сокращение продолжительности процесса в 100 раз, 2-кратное повышение концентрации белка в бульоне, 3-кратное увеличение общего выхода белка и сухих веществ и повышение выхода белка из измельченных ног на 24,3 % по сравнению с мясокостными остатками при равных условиях (26).

Традиционное направление безотходных технологий — переработка бросовых продуктов для получения белковых кормов. Как известно, АК делят на эссенциальные и неэссенциальные. Ранее считалось, что организм животного может самостоятельно синтезировать неэссенциальные аминокислоты, но однозначно это экспериментально не подтверждено. Неэссенциальные аминокислоты (например, глутамин, пролин, глицин, аргинин) играют важную роль в регуляции генной экспрессии, в клеточной сигнализации, проявлении антиоксидантной активности, нейротрансмиссии и иммунитете. Кроме того, глутамин и аспаргат участвуют в поддержании целостности тонкой кишки и ее пищеварительной функции (27). Следовательно, рецептуры кормов для животных должны быть сбалансированы по эссенциальным и всем неэссенциальным аминокислотам, что нужно учитывать при пересмотре концепции «идеального» белка (27). Показано, что низкобелковые диеты с недостатком глицина и серина, используемые при откорме бройлеров, могут снижать скорость роста птицы и вызывать депрессию (28).

На основе белково-пептидных соединений из малоценного сырья животного происхождения могут разрабатываться не только кормовые добавки, но и ветеринарные препараты. Так, Колимак и Динормин предназначены для лечения иммунодефицитных состояний и заболеваний желудочно-кишечного тракта у поросят (29, 30). По эффективности и экономическим показателям эти препараты превосходят импортные аналоги. Колимак представляет собой лиофилизированные экстракты желудка, 12-перстной кишки и поджелудочной железы свиней, обладает выраженными протекторными и лечебными свойствами при желудочно-кишечных расстройствах (антибиотик-ассоциированная диарея, гастроэнтерит). Технологии изготовления позволяют сохранить активные вещества белковой природы, содержащиеся в экстрактах (31). Малоценное сырье также признано пригодным для создания функциональных продуктов реабилитационного, профилактического и лечебного действия. Кроме соединений, ответственных за регуляторные функции в организме, вторичные продукты уоя содержат антимикробные пептиды, участвующие в защите организма от внеш-

них воздействий. Динормин — лечебно-профилактическое средство на основе иммунокомпетентных органов свиней (тимус, селезенка, мезентеральные лимфатические узлы), содержащее значительное количество нейромедиаторных аминокислот (аспарагиновая, глутаминовая кислоты, глицин). Высокоэффективен при иммунодефицитных состояниях животных благодаря естественной регуляции иммунной системы, повышает привесы и сохранность поголовья (32).

Кормовые добавки и прижизненное формирование свойств мясного сырья. Очевидно, что технологии выращивания животных влияют на качество мяса и субпродуктов. Выявление и идентификация белков и пептидов в сырье животного и растительного происхождения расширяет возможности применения источников этих соединений (33). Однако для разработки технологий получения кормовых добавок на основе глубокой переработки белоксодержащего сырья и их эффективного применения с целью прижизненного формирования свойств мясных продуктов необходимо детально изучить связь потребительских и технологических качеств мяса с его протеомным составом и влиянием таких факторов, как стресс и процессы свободно-радикального окисления, и учитывать это при составлении комплексных рецептов.

Из мышечных белков крупного рогатого скота, кур и свиней выделено большое количество полипептидов длиной от двух до 30 аминокислот, участвующих в формировании качества сырья и готового продукта. Хорошо изучены соединения, связанные с нежностью мяса и влагоудерживающей способностью (34, 35). Установлена взаимосвязь между белками теплового шока и качеством мяса (нежность и влагоудерживающая способность) (36, 37). Белки теплового шока (heat shock proteins, HSP) высококонсервативны и экспрессируются во всех клетках организма в ответ на действие физических, химических или биологических стрессоров (38, 39). Абсолютное большинство патологических изменений в функционировании клеток, тканей и органов сопровождается отклонением от нормального белкового профиля здорового организма (40).

Торможение перекисного окисления липидов способствует улучшению вкуса, текстуры и питательной ценности мясной продукции (41). Предпочтения потребителей во многом определяются цветом кожи и мяса цыплят (42, 43). Организм бройлера не может синтезировать пигменты (44), а типичные коммерческие диеты на основе зерна кукурузы и сои не обеспечивают их достаточного количества (45). Поэтому пигменты обычно добавляют в корма (46). Большинство пигментов, многие годы применяемых в птицеводческой отрасли во многих странах, синтетические. Они стабильнее и дешевле натуральных, но их безопасность часто ставится под сомнение (42), а выбор делается в пользу продуктов здорового питания, обогащенных природными каротиноидами (47-49). Пищевой экстракт календулы улучшал показатели роста, пигментацию, антиоксидантную способность и качество мяса у цыплят-бройлеров (50). Экстракт календулы представляет собой смесь ксантофилов с активными компонентами лютеином и несколькими зеаксантинами (ксантофилы каротиноидной группы), которые считаются безопасными, поскольку присутствуют в съедобных растениях. Среди натуральных пигментов экстракты бархатцев наиболее часто используются в кормлении птицы (45). Лютеин может не только улучшать цвет кожных покровов птицы, но и обладает очень сильными антиоксидантными свойствами (42, 51), а антиоксидантный статус тесно связан с качеством мяса. Однако экстракт диетического бархатца в кормлении домашней птицы в ос-

новном используют для изменения цвета яичного желтка. В то же время изучение влияния экстракта календулы на качество мяса у цыплят-бройлеров показало, что природный каротиноид улучшает водоудерживающую способность. То есть более нежная текстура может быть следствием повышения антиоксидантной активности или изменения водоудерживающей способности (52). При жизни антиоксидантный статус влияет на здоровье животных и птицы, а антиоксидантный потенциал мышц после убоя в значительной степени определяет качество мяса. Перекисное окисление липидов свободными радикалами вызывает окислительный стресс и повышает содержание малонового диальдегида — конечного продукта перекисной окисления липидов (53), что также снижает качество мяса и изменяет его цвет. Накопление антиоксидантов, наоборот, стабилизирует цвет мяса и увеличивает время его хранения (54). Добавление в рацион таких антиоксидантов, как витамин Е, может снизить неблагоприятное воздействие окислительного стресса на показатели роста и качество мяса у бройлеров (55) и, следовательно, повысить экономический эффект от кормовых добавок на основе глубокой переработки вторичного белоксодержащего сырья.

Бледное, мягкое и эксудативное (*pale soft exudative, PSE*) мясо домашней птицы остается серьезной проблемой для птицеперерабатывающей промышленности. Прямая причина этого порока мяса — денатурация белка, вызванная быстрым снижением pH в ранний послеубойный период при воздействии высоких температур (56, 57). Также показано, что влияние стрессоров до убоя (переуплотнение, тепловой стресс, стресс транспортировки) может вызывать состояние PSE (58, 59). Этот пример свидетельствует о необходимости учитывать все технологические факторы при оценке экономической эффективности кормовых добавок на основе глубокой переработки вторичных продуктов птицеводства, применяемых для прижизненного формирования свойств мясного сырья.

Итак, вторичные продукты переработки птицы — безопасные и доступные источники коллагена и белковых продуктов для пищевой индустрии, фармакологии и кормопроизводства. В России в результате глубокой переработки птицы в год образуется около 650 тыс. т вторичных продуктов. Для извлечения коллагена из малоценного сырья используют гидротермический, кислотный, щелочной, ферментативный гидролиз. Сухие коллагенсодержащие белки, получаемые при кратковременном гидротермическом гидролизе мясокостных остатков и куриных ног, полностью растворяются в воде, имеют переваримость выше 95 %, что служит косвенным показателем высокой усвояемости белка. Для разработки методов производства кормовых добавок на основе глубокой переработки белоксодержащего сырья и их эффективного применения необходимо изучение протеомного состава сырья с учетом условий прижизненного формирования его потребительских и технологических качеств.

*ФНИЦ Всероссийский научно-исследовательский
и технологический институт птицеводства РАН,
141311 Россия, Московская обл., г. Сергиев Посад, ул. Птицеградская, 10,
e-mail: lukashenko@vnitip.ru*

*Поступила в редакцию
22 июня 2017 года*

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2017, V. 52, № 6, pp. 1105-1115

DEEP PROCESSING OF COLLAGEN-RICH POULTRY PRODUCTS FOR DIFFERENT USE (review)

V.I. Fisinin, D.Y. Ismailova, V.G. Volik, V.S. Lukashenko, I.P. Saleeva

ORCID:

Fisinin V.I. orcid.org/0000-0003-0081-6336

Lukashenko V.S. orcid.org/0000-0002-0107-8235

Ismailova D.Y. orcid.org/0000-0003-3918-8752

Saleeva I.P. orcid.org/0000-0002-7446-1593

Volik V.G. orcid.org/0000-0002-1798-2093

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by Russian Science Foundation (agreement № 17-16-01028)

Received June 22, 2017

doi: 10.15389/agrobiol.2017.6.1105eng

Abstract

The competitiveness of meat processing technologies requires deep processing of protein containing raw materials including low-value wastes and by-products of meat processing. The connective tissues after animal and poultry meat processing can reach 16 % of initial carcass weight and hence the reasonable utilization of these resources is reasonable. Low-value by-products can be transformed to protein products via hydrolysis resulting in the preparations of isolated collagen-rich high-purity proteins with key functional and technological properties for food, feed, medical, and cosmetic industries. Chicken skin (J. Stachowiak et al., 2004), necks and bones (M.I. Kremnevskaya et al., 2016; P.F. De Almeida et al., 2013), trachea of chickens, ducks and ostriches (T. Jaroenviriyaapap et al., 2009) were studied as secondary collagen-rich raw materials. The most common techniques of collagen extraction are acidic and high-temperature hydrolysis (K.A. Munasinghe et al., 2014), papain and pepsin hydrolysis (P. Hashim et al., 2014), alkalase and trypsin hydrolysis (Z. Khiari et al., 2014) and microbial fermentation (A.Yu. Poletaev et al., 2011; O.V. Zinina et al., 2013). Deep processing of secondary collagen-rich raw materials in the meat industry will reduce the existing deficit of food and feed protein, expand the assortment and increase the output of meat products and low cost digestible feeds, and improve the ecological situation. For pharmacology, short peptides are of interest, the regulatory function of which has been known for a long time and is used in medicine (A.D. Neklyudov et al., 2007) which could be produced by deep processing of animal and poultry carcasses. The importance of dietary collagen is also associated with imino acids with –NH groups (proline, hydroxyproline) which are necessary for tissue growth and development (S. Busche, 2011). Different techniques of processing collagen-containing raw materials allow to manufacture protein products with specified properties for use in food, feed and other industries.

Keywords: collagen-containing animal wastes and by-products, enzymatic hydrolysis, short-run high-temperature hydrolysis.

REFERENCES

1. Marggrander K., Hoffman K. Eigenschaften von Kollagen — hydroluisaten beim Zusatz zu Fleischerzeugnissen und Fertigerichten. *Fleischerei*, 1993, 5: 350-354.
2. Bronco S., Cappelli C., Monti S. Understanding the structural and binding properties of collagen: A theoretical perspective. *J. Phys. Chem. B.*, 2004, 108(28): 10101-10112 (doi: 10.1021/jp049172z).
3. De Cupere V.M., Van Wetter J., Rouxhet P.G. Nanoscale organization of collagen and mixed collagen-pluronic adsorbed layers. *Langmuir: The ACS Journal of Surfaces and Colloids*, 2003, 19(17): 6957-6967 (doi: 10.1021/la030081n).
4. Antipova L.V., Glotova I.A. *Ispol'zovanie vtorichnogo kollagensoderzhashchego syr'ya myasnoi promyshlennosti* [Use of secondary raw materials from meat production]. St. Petersburg, 2006 (in Russ.).
5. Antipova L.V., Dvoryaninova O.P., Storublevtsev S.A., Cherkesov A.Z. *Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii*, 2014, 3(61): 103-105 (in Russ.).
6. Li G.Y., Fukunaga S., Takenouchi K.J. Physicochemical properties of collagen isolated from calf limed splits. *Amer. Leather Chem. Ass.*, 2003, 98: 224-229.
7. Stachowiak J., Smigielska H. Sorption of copper and zinc ions by various cereal bran and collagen and elastin preparations. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 2004, 3(1): 5-12.
8. Cliche S., Amiot J., Avezard C., Gariepy C. Extraction and characterization of collagen with or without telopeptides from chicken skin. *Poultry Sci.*, 2003, 82(3): 503-509.
9. Gonotskii V.A., Fedina L.P., Khvylya S.I., Krasnyukov Yu.N., Abaldova V.A. *Myasno pitsy mekhanicheskoi obvalki* [Mechanically deboned poultry meat]. Moscow, 2004 (in Russ.).
10. Kremnevskaya M.I., Vikharev A.V., Abrosimova E.V. *Myasnye tekhnologii*, 2016, 2: 6-8 (in Russ.).
11. Jaroenviriyaapap T., Vittayanont M. Type and content of chondroitin sulphate and

- collagen in poultry tracheas. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 2009, 2(04): 974-980.
12. Omokanwaye T., Wilson O.Jr., Iravani H., Kariyawasam P. Extraction and characterization of a soluble chicken bone collagen. *IFMBE Proceedings*, 2010, 32(4): 520-523.
 13. De Almeida P.F., Calarge F.A., Jose Carlos C. Santana. Production of a product similar to gelatin from chicken feet collagen. *Eng. Agric.*, 2013, 33(6): 1289-1300 (doi: 10.1590/S0100-69162013000600021).
 14. Munasinghe K.A., Schwarz J.G., Nyame A.K. Chicken collagen from law market value by-products as an alternate source. *Journal of Food Processing*, 2014, 2014: Article ID 298295 (doi: 10.1155/2014/298295).
 15. Cansu Ü., Boran G. Optimization of a multi-step procedure for isolation of chicken bone collagen. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.*, 2015, 35(4): 431-440 (doi: 10.5851/kosfa.2015.35.4.431).
 16. Hashim P., Mohd Ridzwan M.S., Bakar J. Isolation and characterization of collagen from chicken feet. *International Journal of Bioengineering and Life Sciences*, 2014, 8(3): 250-254.
 17. Dragunova M.M., Brekhova V.P. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2014, 1(32): 18-21 (in Russ.).
 18. Poletaev A.Yu., Kriger O.B., Mitrokhin P.V. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2011, 2(21): 49-52 (in Russ.).
 19. Zinina O.V., Tarasova I.V. Rebezov M.B. *Vse o myase*, 2013, 3: 41-43 (in Russ.).
 20. Postnikov S.I., Ryzhinkova S.I. *Myasnaya industriya*, 2009, 11: 43-45 (in Russ.).
 21. Semenova A.A., Trifonov M.V. *Myasnaya industriya*, 2007, 5: 29-31 (in Russ.).
 22. Semenova A.A. *Vse o myase*, 2009, 2: 26-30 (in Russ.).
 23. Neklyudov A.D., Ivankin A.N. *Kollagen: poluchenie, svoystva, primeneniye* [Collagen — production, characterization, and use]. Moscow, GOU VPO MGUL, 2007 (in Russ.).
 24. Busche S. *Collagen based functional proteins*. Fleisch Wirtschaft International, 2011, 3: 48.
 25. Khiari Z., Ndagijimana M., Betti M. Low molecular weight bioactive peptides derived from the enzymatic hydrolysis of collagen after isoelectric solubilization/precipitation process of turkey by-products. *Poultry Sci.*, 2014, 93(9): 2347-2362 (doi: 10.3382/ps.2014-03953).
 26. Volik V.G., Ismailova D.Yu., Zinov'ev S.V., Erokhina O.N. *Ptitsa i ptitseprodukt*, 2017, 2: 40-42 (in Russ.).
 27. Guoyao Wu. Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2014, 5: 34 (doi: 10.1186/2049-1891-5-34).
 28. Wolfgang Siegert. *Factors influencing the response of broiler chicken to glycine supplements in low crude protein diets. Dissertation submitted in fulfilment of the regulations to acquire the degree Doktor der Agrarwissenschaften (Dr. Sc. Agr. in Agricultural Sciences)*. Institute of Animal Science University of Hohenheim, 2016.
 29. Chernukha I.M., Lyublinskaya L.A., Fedulova L.V., Vasilevskaya E.R., Kotenkova E.A., Makarenko A.N. *Vse o myase*, 2015, 2: 14-17 (in Russ.).
 30. Chernukha I.M., Lyublinskaya L.A., Fedulova L.V., Makarenko A.N., Timokhina E.A. *Vse o myase*, 2013, 4: 14-17 (in Russ.).
 31. Chernukha I.M., Lyublinskaya L.A., Fedulova L.V., Vasilevskaya E.R., Makarenko A.N. *Vse o myase*, 2013, 5: 40-42 (in Russ.).
 32. Chernukha I.M., Lyublinskaya L.A., Fedulova L.V., Vasilevskaya E.R., Makarenko A.N., Timokhina E.A. *Vse o myase*, 2014, 6: 36-39 (in Russ.).
 33. Ohlendieck K. Skeletal muscle proteomics: current approaches, technical challenges and emerging techniques. *Skeletal Muscle*, 2011, 1: 6 (doi: 10.1186/2044-5040-1-6).
 34. Xing T., Wang P., Zhao L., Liu R., Zhao X., Xu X., Zhou G. A comparative study of heat shock protein 70 in normal and PSE (pale, soft, exudative)-like muscle from broiler chickens. *Poultry Sci.*, 2016, 95(10): 2391-2396 (doi: 10.3382/ps/pew181).
 35. Wu W., Fu Y., Therkildsen M., Li X.-M., Dai R.-T., Molecular understanding of meat quality through application of proteomics. *Food Rev. Int.*, 2015, 31: 13-28 (doi: 10.1080/87559129.2014.961073).
 36. Lomiwes D., Farouk M., Wiklund E., Young O. Small heat shock proteins and their role in meat tenderness: A review. *Meat Sci.*, 2014, 96: 26-40 (doi: 10.1016/j.meatsci.2013.06.008).
 37. Zhang M., Wang D., Geng Z., Bian H., Liu F., Zhu Y., Xu W. The level of heat shock protein 90 in pig Longissimus dorsi muscle and its relationship with meat pH and quality. *Food Chem.*, 2014, 165: 337-341 (doi: 10.1016/j.foodchem.2014.05.111).
 38. Feder M.E., Hofmann G.E. Heat-shock proteins, molecular chaperones, and the stress response: Evolutionary and ecological physiology. *Annu. Rev. Physiol.*, 1999, 61: 243-282 (doi: 10.1146/annurev.physiol.61.1.243).
 39. Yu J., Tang S., Bao E., Zhang M., Hao Q., Yue Z. The effect of transportation on the expression of heat shock proteins and meat quality of *M. longissimus dorsi* in pigs. *Meat Sci.*, 2009, 83(3): 474-478 (doi: 10.1016/j.meatsci.2009.06.028).
 40. Suchkov S.V., Gnatenko D.A., Kostyushev D.S., Krynskii S.A., Pal'tsev M.A. *Vestnik RAMN*, 2013, 1: 65-71 (in Russ.).

41. Faustman C., Sun Q., Mancini R., Suman S.P. Myoglobin and lipid oxidation interactions: mechanistic bases and control. *Meat Science*, 2010, 86: 86-94 (doi: 10.1016/j.meatsci.2010.04.025).
42. Liu G.-D/, Hou G.-Y., Wang D.-J., Lv S.-J., Zhang X.-Y., Sun W.-P., Yang Y. Skin pigmentation evaluation in broilers fed different levels of natural okra and synthetic pigments. *J. Appl. Poult. Res.*, 2008, 17: 498-504 (doi: 10.3382/japr.2008-00058).
43. Velasco V., Williams P. Improving meat quality through natural antioxidants. *Chilean J. Agric. Res.*, 2011, 71(2): 313-322 (doi: 10.4067/S0718-58392011000200017).
44. Lokaeivmanee K., Yamauchi K., Komori T., Saito K. Enhancement of yolk color in raw and boiled egg yolk with lutein from marigold flower meal and marigold flower extract. *J. Poultry Sci.*, 2011, 48: 25-32 (doi: 10.2141/jpsa.010059).
45. Castaneda M., Hirschler E., Sams A. Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and synthetic pigments. *Poultry Sci.*, 2005, 84(1): 143-147 (doi: 10.1093/ps/84.1.143).
46. Perez-Vendrell A., Hernandez J., Llauro L., Schierle J., Brufau J. Influence of source and ratio of xanthophyll pigments on broiler chicken pigmentation and performance. *Poultry Sci.*, 2001, 80: 320-326 (doi: 10.1093/ps/80.3.320).
47. Karadas F., Grammenidis E., Surai P., Acamovic T., Sparks N. Effects of carotenoids from lucerne, marigold and tomato on egg yolk pigmentation and carotenoid composition. *Vrit. Poultry Sci.*, 2006, 47: 561-566 (doi: 10.1080/00071660600962976).
48. Johnson EJ. The role of carotenoids in human health. *Nutr. Clin. Care*, 2002, 5: 56-65 (doi: 10.1046/j.1523-5408.2002.00004.x).
49. Satoh Y, Shikama K. Autoxidation of oxymyoglobin. A nucleophilic displacement mechanism. *J. Biol. Chem.*, 1981, 256: 10272-10275.
50. Wang S., Zhang L., Li J., Cong J., Gao F., Zhou G. Effects of dietary marigold extract supplementation on growth performance, pigmentation, antioxidant capacity and meat quality in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 2017, 30(1): 71-77 (doi: 10.5713/ajas.16.0075).
51. Alves-Rodrigues A., Shao A. The science behind lutein. *Toxicol. Lett.*, 2004, 150(1): 57-83 (doi: 10.1016/j.toxlet.2003.10.031).
52. Judge M., Reeves E., Aberle E. Effect of electrical stimulation on thermal shrinkage temperature of bovine muscle collagen. *J. Anim. Sci.*, 1981, 52(3): 530-534 (doi: 10.2527/jas1981.523530x).
53. Kim J.E., Clark R.M., Park Y., Lee J., Fernandez M.L. Lutein decreases oxidative stress and inflammation in liver and eyes of guinea pigs fed a hypercholesterolemic diet. *Nutr. Res. Pract.*, 2012, 6(2): 113-119 (doi: 10.4162/nrp.2012.6.2.113).
54. Faustman C., Cassens R. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: a review. *J. Muscle Foods*, 1990, 1: 217-243 (doi: 10.1111/j.1745-4573.1990.tb00366.x).
55. Gao J., Lin H., Wang X., Song Z., Jiao H. Vitamin E supplementation alleviates the oxidative stress induced by dexamethasone treatment and improves meat quality in broiler chickens. *Poultry Sci.*, 2010, 89: 318-327 (doi: 10.3382/ps.2009-00216).
56. Barbut S., Sosnicki A.A., Lonergan S.M., Knapp T., Ciobanu D.C., Gatcliffe L.J., Huff-Lonergan E., Wilson E.W. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *Meat Sci.*, 2008, 79(1): 46-63 (doi: 10.1016/j.meatsci.2007.07.031).
57. Kim Y.H.B., Warner R.D., Rosenfold K. Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: A review. *Anim. Prod. Sci.*, 2004, 54: 375-395 (doi: 10.1071/AN13329).
58. Adzitey F., Nurul H. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: Causes and measures to reduce these incidences-a mini review. *International Food Research Journal*, 2011, 18: 11-20.
59. Xing T., Xu X., Zhou G., Wang P., Jiang N. The effect of transportation of broilers during summer on the expression of heat shock protein 70, postmortem metabolism and meat quality. *J. Anim. Sci.*, 2015, 93(1): 62-70 (doi: 10.2527/jas.2014-7831).