

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ
КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЗРЕЛОСТИ
ДО И ПОСЛЕ ИХ ХИМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ**

**COMPARATIVE ASSESSMENT OF STRUCTURAL FEATURES
OF COLLAGEN-CONTAINING MATERIALS WITH VARIOUS
DEGREES OF MATURITY BEFORE AND AFTER CHEMICAL STABILIZATION**

*Е.А. ПАНКОВА, Г.Р. РАХМАТУЛЛИНА, В.П. ТИХОНОВА,
Д.К. НИЗАМОВА, Л.В. ЧАПАЕВА*

*E.A. PANKOVA, G.R. RAKHMATULLINA, V.P. TIKHONOVA,
D.K. NIZAMOVA, L.V. SHARAEVA*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: nizamova.darya.93@mail.ru

Статья посвящена актуальному вопросу расширения источников получения коллагена из различных биологических объектов. В работе рассматриваются коллагенсодержащие отходы пищевой промышленности – шкурки домашних птиц (куриц), при этом оценивается уровень их зрелости (40 и 540 суток) в зависимости от видовых особенностей. Изучение коллагенсодержащих материалов в силу лабильности их структуры и наличия избыточного жира значительно затруднено. В ходе проведенных исследований при этом установлено, что более сформированной и стабильной структурой обладает неизменный коллагенсодержащий материал, прошедший более долгое созревание. Стабилизация структуры коллагенсодержащего материала позволила выявить, что увеличение продолжительности созревания коллагенсодержащего материала приводит к значительному уплотнению его структуры за счет уменьшения аморфного межклеточного вещества и утолщения самих коллагеновых волокон. Исследуемые объекты могут найти свое применение как в неизменном виде, например в медицине (коллагенсодержащий материал с уровнем зрелости 540 суток), так и после химической стабилизации, в частности в легкой промышленности (коллагенсодержащий материал с уровнем зрелости 40 суток).

The article is devoted to the urgent issue of expanding the sources of collagen production from various biological objects. The paper considers collagen-containing wastes of food industry, pelts of poultry (chickens), and estimates the level of their maturity (40 and 540 days) depending on species characteristics. In the course of the work it was found that the study of samples of unchanged collagen-containing materials due to the lability of their structure and the presence of excess fat is significantly difficult, but it was found that more formed and stable structure has unchanged collagen-containing material that has undergone a longer maturation. Stabilization of the structure of collagen-containing material allowed us to reveal that increasing the duration of maturation of collagen-containing material leads to a significant densification of its structure due to a decrease in amorphous intercellular substance and thickening of collagen fibers themselves. The studied objects can be

used both in unchanged form - in medicine (collagen-containing material with maturity level of 540 days) and after chemical stabilization - in light industry (collagen-containing material with maturity level of 40 days).

Ключевые слова: коллагенсодержащий материал, дермальный слой, кожа птиц, степень зрелости, микроскопия, порометрия, гистология, прочность, неизменная и стабилизированная структура.

Keywords: collagen-containing material, dermal layer, bird skin, degree of maturity, microscopy, porometry, histology, strength, unchanged and stabilized structure.

Введение

Коллагенсодержащие материалы нашли широкое распространение в различных областях жизнедеятельности человека. Их получение из различных биологических источников и исследование является предметом пристального внимания ученых всего мира. Содержание коллагена в различных объектах и тканях заметно отличается [1]. Наиболее изученными источниками коллагена, несомненно, являются животные объекты (КРС, свиньи), однако в последнее время широкое распространение получили и морские биологические источники (рыбы и морские млекопитающие). Практически неизученным остается еще один биологический источник коллагена, а именно кожа птиц. Содержание коллагена в данном материале относительно других объектов невелико и составляет порядка 21% [2]. Однако следует принимать во внимание значительные объемы производства птицеводческих хозяйств (куры, индейки, утки, гуси и т. д.). При переработке тушек домашней птицы их кожа превращается в отходы, поэтому использование данного материала может иметь широкие перспективы. В свою очередь, изучение структурных особенностей данного объекта с целью раскрытия его потенциала является актуальным направлением исследований.

Методы исследования

С целью сравнительной оценки особенностей коллагенсодержащих материалов образцы подвергали целому комплексу исследований (порометрия, гистология неизменного коллагена, конфокальная микроскопия, порометрия стабилизированной структуры коллагена).

Для выявления коллагеновых волокон соединительной ткани использовалась гистологическая окраска по методу Ван-Гизона. Все морфометрические измерения и качественная оценка срезов осуществлялись при помощи прямого светового микроскопа Nikon H550S с программным обеспечением NIS-Elements Basic Research («Nikon», Япония). Предварительно проводили депарафинирование срезов в ксилоле, регидратацию в ряду изопропиловых спиртов IsoPrep с понижением концентрации от 96% к 50%, выдержку в гематоксилине и затем в водопроводной воде, окрашивание в пикрофуксине, далее следовала промывка в дистиллированной воде, дифференцировка в изопропиловых спиртах восходящей концентрации от 50% к 96%, дегидратация, просветление срезов в ксилоле и заключение срезов в монтирующую среду «Витрогель».

Микрофотографии срезов материалов получены на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе Olympus LEXT OLS4100 [3].

Измерения размеров пор проводили методом сканирующего давления на приборе «POROLUX™100» [4]. Перед исследованием пористый образец предварительно смачивали специальной жидкостью Porefil (перфторэфир с поверхностным натяжением 16 мН/м), которая полностью заполняла поры образца. Первоначально проводили измерение на смоченном образце, затем проводили тот же эксперимент для полностью сухого образца.

Показатель общей пористости измеряли пикнометрическим методом [5]. Кожу куриц измельчали на кусочки шириной 2...3 мм и

длиной 20 мм. Навеску измельченного образца массой 5...10 г, взятую с погрешностью 0,01 г, помещали в пикнометр объемом 25 см³, который наполняли до метки керосином. По разнице кажущегося и истинного объемов находили объем пор анализируемого образца и пористость.

В течение 30 минут осуществлялась кратковременная ферментативная обработка шкурок куриц в растворе поверхностно-активного вещества (5 г/дм³) и 1% протосубтилина ГЗх при жидкостном коэффициенте 2 и температуре 35...37°C.

Процесс необратимой фиксации структуры (дубление) проводили при температуре 20°C с применением хлорида натрия (5%), сухого хромового дубителя (0,5%), жировой композиции (5%) и квебрахо (8%) при жидкостном коэффициенте 2 в течение 8 часов.

Результаты и обсуждения

Исследования кожи птиц, проведенные ранее, показывают, что дермальный слой данного объекта весьма тонкий (300...600 мкм) и состоит из двух основных пластов (подэпидермальный или поверхностный и глубокий). Поверхностный слой формируется мелкими пучками коллагеновых волокон и характеризуется значительным количеством кровеносных сосудов. Глубокий слой состоит из более крупных коллагеновых пучков, имеющих горизонтальное расположение [6]. На границе между глубоким и подкожным слоями располагается слой эластических волокон. В дермальном слое птиц отсутствуют потовые и сальные железы, однако в подкожном слое откладывается значительное количество жира в клетках в виде одной большой капли, заполняющей всю цитоплазму.

В случае кур еще одной характерной чертой является наличие временных границ для созревания данного объекта (40 и 540 суток) в зависимости от видовых особенностей. Поэтому в качестве объекта исследования выбраны образцы коллагенсодержащего материала из кожи курицы с различным уровнем зрелости.

Первоначальные исследования, проведенные нами, показали, что изучение образцов неизмененных коллагенсодержащих

материалов с различным уровнем зрелости в силу лабильности их структуры и наличия избыточного жира значительно затруднено [7]. Тем не менее в ходе целого цикла исследований выявлено, что образец с высоким уровнем зрелости характеризуется более сформированной (компактной и мелкоячеистой) и стабильной структурной организацией относительно образца с низким уровнем зрелости.

Существенная разница у данных образцов наблюдается и в размере пор. Так, у образца со степенью зрелости 40 суток поры находятся в размерном диапазоне от 0,28 до 0,40 мкм, а у образца со степенью зрелости 540 суток поры мельче и находятся в размерном диапазоне от 0,16 до 0,32 мкм. Измерения проведены на приборе «POROLUX™100».

На рис. 1 представлены гистологические исследования срезов шкурок куриц с различным уровнем зрелости дермы с применением метода окрашивания коллагена по Ван-Гизону: а – срок зрелости 40 суток; б – срок зрелости 540 суток.

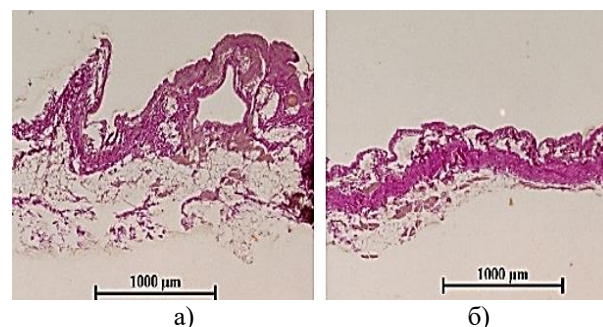


Рис. 1

Гистологические исследования срезов шкурок куриц подтверждают предположение о более сформированной и стабильной структуре неизмененного образца, прошедшего более долгое созревание.

На следующем этапе исследований для стабилизации структуры коллагена образцы подвергали обработке сшивающими агентами (дубителями). Однако наличие в материале капсулированных жировых веществ препятствовало диффузии дубящих реагентов вглубь структуры. Целый ряд проведенных экспериментов продемонстрировал низкую эффективность эмульсионных методов обезжиривания, заключаю-

щихся в обработке коллагенсодержащего материала эмульсией, состоящей из воды и поверхностно-активного вещества, поэтому для обезжиривания образцов коллагенсодержащих материалов из шкур курицы с различным уровнем зрелости применяли ферментативный метод обработки с последующей фиксацией коллагеновой структуры органическими дубящими агентами растительной природы – таннидами [8]. Процесс дубления является необратимым, происходит фиксация достигнутой при подготовительной обработке структуры материала за счет химического связывания дубителя с активными центрами белка. В результате получены образцы коллагенсодержащего материала с различным уровнем зрелости дермы со стабилизированной структурой, микрофотографии которых представлены на рис. 2 (увеличение в 20 раз): а – зрелость 40 суток, б – зрелость 540 суток.

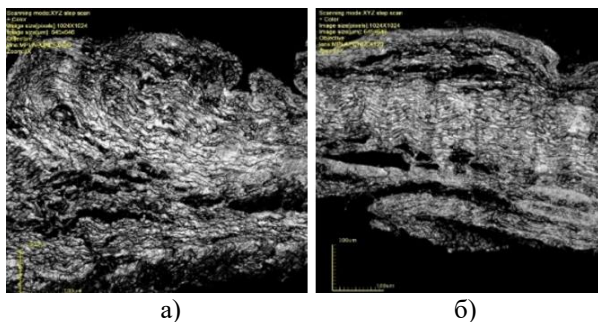


Рис. 2

Микрофотографии позволяют сопоставлять размерные данные образцов и их структурных элементов, а также осуществлять визуальную оценку макроструктуры. Анализ микрофотографий показывает, что увеличение продолжительности созревания коллагенсодержащего материала приводит к значительному уплотнению его структуры за счет уменьшения аморфного межклеточного вещества и утолщения самих коллагеновых волокон.

Для количественной оценки уплотнения коллагенсодержащего материала в результате увеличения его зрелости проводили измерение пористости. Показатель общей пористости измерялся пикнометрическим методом. Полученные результаты показали,

что у образца с меньшим уровнем зрелости данный показатель составляет 51,45%, а у образца с высоким уровнем зрелости – 29,27%. Таким образом, снижение показателя пористости в результате увеличения уровня зрелости дермы составило 43%.

Для более детального понимания изменения показателя пористости проведено измерение на приборе «POROLUX™100». Анализ полученных данных показал, что поры исследуемых образцов имеют различные размеры: у образца со степенью зрелости 40 суток поры находятся в размерном диапазоне от 9,1 до 20,1 мкм, а у образца со степенью зрелости 540 суток поры значительно мельче и находятся в размерном диапазоне от 3,6 до 18,2 мкм.

Заключение

Проведенные исследования коллагенсодержащих материалов с различной степенью зрелости позволяют заключить, что изучение образцов неизмененных коллагенсодержащих материалов с различным уровнем зрелости в силу лабильности их структуры и наличия избыточного жира значительно затруднено и не дает объективной оценки. Стабилизация структуры коллагенсодержащего материала позволила выявить, что увеличение продолжительности созревания коллагенсодержащего материала приводит к значительному уплотнению его структуры за счет уменьшения аморфного межклеточного вещества и утолщения самих коллагеновых волокон. Данные материалы могут найти применение как в неизменном виде, например в медицине (коллагенсодержащий материал с уровнем зрелости 540 суток), так и после химической стабилизации, в частности в легкой промышленности (коллагенсодержащий материал с уровнем зрелости 40 суток).

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.Н. Коллаген кожного покрова и основы его переработки. М.: Легпромбытиздат, 1971. 528 с.
2. Гуринович Г.В., Абдрахманов Р.Н. Изучение состава и свойств белкового сырья от переработки птицы // Техника и технология пищевых производств. 2011. Т. 20. № 1. С. 22...26.
3. Абдуллин И.Ш., Вознесенский Э.Ф., Желтухин В.С., Красина И.В. Моделирование микроструктуры кожевенного материала на стадиях производ-

ства и при ВЧЕ-плазменной обработке. Казань: КНИТУ, 2009. 228 с.

4. <https://www.porometer.ru/> (дата обращения 11.11.2025)

5. Чурсин В.И. Современные аналитические методы исследования свойств и строения кожи и меха: лаб. практикум: учеб. пособие. 3-е изд. стер. СПб.: Лань, 2022. 160 с.

6. Туменова Г.Т., Рахимова С.М., Ануарбекова А.С. Сравнительный анализ нового компонента мясных продуктов – кожи промышленной и домашней птицы // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 1(24). С. 82...84.

7. Рахматуллина Г.Р., Панкова Е.А., Тихонова В.П. и др. Исследование структурных особенностей коллагенсодержащих материалов с различной степенью зрелости // Вестник технологического университета. 2024. Т. 27. № 12. С. 170...174.

8. Пат. 2809564 С1 Российская Федерация, МПК С14С 1/04, С14С 1/08, С14С 3/10. Способ обработки шкурки курицы.

REFERENCES

1. Mikhailov A.N. Skin collagen and the basics of its processing. Moscow: Legprombytizdat, 1971. 528 p.

2. Gurinovich G.V., Abdrakhmanov R.N. Study of the composition and properties of protein raw materials from poultry processing // Equipment and technology of food production. 2011. Vol. 20. No. 1. Pp. 22...26.

3. Abdullin I.Sh., Voznesensky E.F., Zheltukhin V.S., Krasina I.V. Modeling the microstructure of leather material at the stages of production and during high-frequency plasma treatment. Kazan: KNIU, 2009. 228 p.

4. <https://www.porometer.ru/> (date of access 11.11.2025)

5. Chursin V.I. Modern analytical methods for studying the properties and structure of leather and fur: laboratory practical training: a tutorial for universities. 3rd ed. ster. St. Petersburg: Lan, 2022. 160 p.

6. Tumenova G.T., Rakhimova S.M., Anuarbekova A.S. Comparative analysis of a new component of meat products – skin of industrial and poultry // Equipment and technology of food production. 2012. № 1(24). P. 82...84.

7. Rakhmatullina G.R., Pankova E.A., Tikhonova V.P. etc. Study of structural features of collagen-containing materials with different degrees of maturity // Bulletin of the Technological University. 2024. Vol. 27. No. 12. P. 170...174/

8. Patent 2809564 C1 Russian Federation, IPC C14C 1/04, C14C 1/08, C14C 3/10. Method for processing chicken skins.

Рекомендована кафедрой плазмохимических технологий наноматериалов и покрытий КНИТУ. Поступила 28.12.24.