

Научная статья

УДК 664.95.08 (06)

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-73-87

Характеристики пищевого коллагенсодержащего гидрата из кожи судака по данным ИК-Фурье-спектроскопии

Виктор Иванович Воробьев¹, Александр Григорьевич Булычев², Елена Владимировна Нижникова³

^{1,2,3}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹viktor.vorobev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

²aleksandr.bulychev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9724-1104>

³elena.nizhnikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2209-7937>

Аннотация. Разработан способ переработки рыбьей кожи, позволяющий получить пищевой гидрат, заключающийся в предварительной очистке кожи от прирезей мышечной ткани и последующем отделении чешуи. Полученную кожу судака опускали в емкость с водой, пищевой солью NaCl и содой NaHCO₃, взятых соответственно в массовом соотношении 100:400:5:1, выдерживали в течение 40 мин и промывали водой, затем погружали в яблочный сок (массовое соотношение 1:10) на 6 сут при 4 °С. В процессе выдержки (144 ч) в соке масса кожи увеличилась в 4,47 раза по сравнению с начальной массой, при этом кислотность сока снизилась с 3,54 до 3,70. Набухшая после 48 ч выдержки в соке кожа легко разрывалась (без усилий) и растиралась пальцами. Для характеристики исходной кожи и сока, а также образцов, полученных в процессе их совместной выдержки и отбираемых для анализа, через каждые 24 ч в течение всего процесса (6 сут) применялся метод ИК-Фурье-спектроскопии, показавший наличие функциональных групп коллагена (амид А, В, I, II и III) в исследуемых образцах. Разница в волновых числах между амидами I и II в образцах кожи, выдержанных в соке, составила менее 100 см⁻¹, что указывает на сохранение тройной спиральной структуры коллагена. Полученный гидрат из рыбьей кожи (с сохранением нативной структуры коллагена) может быть рекомендован в качестве пищевой добавки в продуктах питания.

Ключевые слова: рыбья кожа, рыбный коллагенсодержащий гидрат, яблочный сок прямого отжима, кожа судака, метод ИК-Фурье-спектроскопии.

Финансирование: Исследование осуществлялось в рамках проекта Федерального агентства по рыболовству (Министерство сельского хозяйства Российской Федерации) с рег. № 122030900086-1 от 09.03.2022, код 01-32-05-1 «Развитие и совершенствование производственных систем пищевой промышленности».

Для цитирования: Воробьев В. И., Булычев А. Г., Нижникова Е. В. Характеристики пищевого коллагенсодержащего гидрата из кожи судака по данным ИК-Фурье-спектроскопии // Известия КГТУ. 2023. № 70. С 73-87. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-73-87.

Original article

Characteristics of food collagen hydrate obtained from pikeperch skin by FTIR spectroscopy

Viktor I. Vorob'ev¹, Aleksandr G. Bulychev, Elena V. Nizhnikova³

^{1,2,3} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹viktor.vorobev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

²aleksandr.bulychev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9724-1104>

³elena.nizhnikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2209-7937>

Abstract. Authors developed a method for processing fish skin, which makes it possible to obtain a food hydrate. Method consists of skin preliminary cleaning from cuts in muscle tissue and the subsequent separation of fish scales. The resulting pikeperch skin was mixed in a container with water, food salt NaCl and soda NaHCO₃ taken respectively in a mass ratio of 100:400:5:1, kept for 40 minutes and washed with water. The cleaned skin was mixed with apple juice in a mass ratio of 1:10 and kept at 4 deg C for 6 days. During exposure (144 hours) in the juice, the weight of the skin increased by 4.47 times compared to its initial weight, while there was a decrease in the acidity of the juice from pH 3.54 to 3.70. Swollen after 48 hours of aging in juice, the skin was easily torn (without effort) and rubbed with fingers. To characterize the original skin and juice, as well as samples obtained during their joint exposure and taken every 24 hours during the entire process (6 days), the FT-IR spectroscopy method was used, which showed the presence of functional groups of collagens (amide A, B, I, II and III) in prototypes. The difference in wavenumbers between amides I and II in skin samples kept in juice was less than 100 cm⁻¹, which indicates the preservation of the triple helical structure of collagen. The resulting hydrate from fish skin (with the preservation of the native structure of collagen) can be recommended as an independent product, or as an additive in food products.

Keywords: fish skin, fish collagen hydrate, direct-pressed apple juice, pike-perch skin, FTIR spectroscopy method.

Funding: The study has been carried out within the framework of the project of the Federal Agency for Fisheries (Ministry of Agriculture of the Russian Federation) with reg. No. 122030900086-1 dated 09.03.2022, code 01-32-05-1 "Development and improvement of production systems of the food industry".

For citation: Vorob'ev V. I., Bulychev A. G., Nizhnikova E. V. Characteristics of food collagen hydrate obtained from pikeperch skin by FTIR spectroscopy // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70) : 73-87. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-73-87.

ВВЕДЕНИЕ

Количество рыбьей кожи, образующейся в процессе разделки гидробионтов, составляет от 2,0 до 12,6 % от общей массы рыбы [1, 2].

Подсчитано, что в 2015 г. людьми во всем мире было съедено около 150 млн т рыбного филе, что эквивалентно 6 млн т выброшенных рыбьих кож, которые могли быть переработаны [3].

Не более 1 % рыбьих кож от общего количества произведенных кож, полученных от различных животных, используется при производстве кожгалантерейных изделий [4].

Основное направление переработки покровных тканей рыб – производство рыбной кормовой муки и гидролизатов [5].

В пищевой промышленности стран Юго-Восточной Азии одной из основных закусок является жареная или маринованная рыбья кожа, которая используется также в качестве начинки в суши-роллах, салатах или в виде порошка (применяется как добавка к соусам, желе, бульонам и приправам) [6–9].

Некоторое распространение в мире имеет производство чипсов из рыбьей кожи (с различными добавками в виде специй, масла, желтка утиных яиц и др.) под различными брендами (Golden Duck, Crispy fish skin chicharrons и др.) [10].

Основной компонент рыбьей кожи – коллаген (60–90 % от массы ее сухого вещества). Коллаген (группа родственных органических соединений) является преобладающим белком, составляющим 25–30 % от массы всех белков организма человека и животных [11].

Считается, что ввиду отсутствия незаменимых аминокислот (триптофан, цистин) коллаген переваривается в организме человека лишь частично. Недавние исследования показали, что физиологическая роль неперевариваемой части коллагена аналогична растительным балластным веществам, усиливающим перистальтику кишечника и сохраняющим тепло человеческого тела [12].

Более 20 лет исследователями многих стран ведутся активные поиски по экономически приемлемым способам получения коллагена из покровных тканей различных видов гидробионтов, что связано с его перспективным применением в различных отраслях (медицина, фармацевтика, косметика, продукты питания и др.), а также с необходимостью переработки значительного количества рыбных отходов (кожа, чешуя и др.), образующихся в процессе разделки рыбы, которые используются лишь частично, загрязняя окружающую среду.

Традиционными процессами получения коллагена из кожи рыб являются: отделение чешуи и очистка кожи; ее измельчение; удаление неколлагеновых белков; перевод коллагена в водорастворимое состояние (гидролиз с применением кислот, щелочей, ферментов и др.); выделение коллагена из раствора (солевое осаждение и др.) [13].

Значительное количество применяемых жидкостей и необходимость их частичной нейтрализации, продолжительность и многооперационность технологического процесса, использование дорогостоящих ферментов, высокие потери сырья и энергозатраты являются основными причинами того, что подавляющее большинство предложенных способов переработки рыбьей кожи при получении коллагена в настоящее время экономически нецелесообразны.

Разработан экономически приемлемый способ получения коллагенсодержащего гидрата из кожи судака, используемого в качестве компонента хлебобулочного изделия [14].

Цель работы заключалась в исследовании характеристик получаемого рыбного пищевого коллагенсодержащего гидрата по данным ИК-Фурье-спектроскопии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходным материалом, необходимым для получения опытных образцов пищевого продукта, являлась кожа судака (*Sander lucioperca*), образующаяся при разделке ручным способом охлажденной рыбы (массой от 1,2 до 2,0 кг), выловленной в акватории Калининградской области.

Процесс приготовления образцов рыбьей кожи осуществляли следующим образом. Полученную после разделки судака кожу с чешуей промывали водой и очищали ножом от прирезей мышечной ткани (рис. 1).



Рис. 1. Рыбья кожа с чешуей (судак)
Fig. 1. Fish skin with scales (pikeperch)

Далее кожу в количестве 400 г погружали в двухскоростной смеситель «Moulinex Delico FP203» (500 Вт) вместе с пищевой солью NaCl (20 г), дробленым льдом (80 г) и обрабатывали в положении 1 (1000 об./мин) до полного отделения чешуи от кожи (продолжительность обработки составила 6 мин). Полученную смесь кожи с чешуей промывали в воде для удаления соли и частично пигментных клеток – хроматофоров (в основном меланофор, располагающихся на границе эпителия и дермы, имеющих черный пигмент меланин), определяющих окраску рыбьей кожи (исследовали на вкус и визуально), и фракционировали при помощи вращающегося сетчатого барабана, получая очищенную от чешуи кожу (210 г). Очищенную кожу опускали в емкость с пресной водой (при комнатной температуре), пищевой солью NaCl и содой NaHCO₃, взятых соответственно в массовом соотношении 100:400:5:1, и выдерживали в течение 40 мин. Далее жидкую часть сливали, оставшееся рыбное сырье промывали пресной водой до полного удаления соли, а также рыбного запаха и частично хроматофоров (проверяли на вкус, запах и визуально). Промытую рыбью кожу порциями (по 11,2 г) помещали в стеклянные банки с завинчивающимися крышками и заливали яблочным соком прямого отжима (ООО «Натурово», г. Калининград, далее по тексту «яблочный сок») в количестве по 112 г в каждую банку, банки закрывали крышками и выдерживали в холодильнике при температуре 4 °С.

Водородный показатель опытных образцов яблочного сока определяли при помощи поверенного рН-метра «HANNA HI 98103 Checker 1». Определение сухих веществ сока проводили при помощи рефрактометра «ИРФ-454Б2М». В процессе исследований осуществляли органолептическую оценку (внешний вид, цвет, вкус) полученных образцов на отдельных этапах обработки рыбьей кожи.

Через каждые 24 часа доставали из холодильника по одной банке и отделяли рыбью кожу от яблочного сока, кожу и сок по отдельности взвешивали и высушивали до постоянной массы (электросушилка «Clatronic DR 275», сушильный

шкаф «SNOL»), затем высушенную кожу измельчали (кофемолка «Scarlett SC-CG44506», 150 Вт).

Измельченные высушенные образцы рыбьей кожи (порошок) и яблочного сока (неподвижная вязкая масса) использовали для проведения их инфракрасного спектроскопического анализа с преобразованием Фурье (FTIR).

Подготовку образцов сухой кожи и сока для исследования методом ИК-Фурье-спектроскопии осуществляли следующим образом. Измельченные образцы рыбьей кожи перед снятием спектра дополнительно измельчали в агатовой ступке, а образцы яблочного сока наносили непосредственно на кристалл спектрометра стеклянным шпателем.

Сухим образцам сока были присвоены цифровые значения (0,1,2,3,4,5,6), соответствующие продолжительности их содержания в холодильнике в сутках. Аналогично, но с добавлением к цифре буквенного индекса «sp», были отмечены образцы рыбьей кожи (0sp–6sp). Регистрация инфракрасных спектров образцов проводилась на ИК-Фурье-спектрометре «ФТ-801» (производитель – научно-производственная фирма «СИМЕКС», г. Новосибирск, Россия). Для снятия спектров применяли метод нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с использованием универсальной приставки НПВО. Образцы прижимали к кристаллу с помощью специального приспособления для лучшего контакта между частицами образца и кристаллом.

Спектры регистрировались при комнатной температуре. Диапазон сканирования составлял от 500 см^{-1} до 4000 см^{-1} при разрешении 8 см^{-1} , число сканирования – 72. Опорный спектр фоновых воздуха снимался перед каждым сканированием образца. Спектры были обработаны в программе «ZaIR 3.5».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рыбья кожа без чешуи, яблочный сок и их образцы, полученные после выдержки кожи в соке на отдельных этапах обработки, представлены на рис. 2–7.



Рис. 2. Рыбья кожа судака без чешуи
Fig. 2. Pike perch fish skin without scales

Очищенная от чешуи рыбья кожа (далее по тексту «рыбья кожа») (рис. 2) в результате обработки в смесителе и последующей выдержки в водном растворе солей имела более светлый и равномерный серый оттенок по всей поверхности по сравнению с кожей, очищенной от чешуи при помощи ножа без последующей обработки. Разница в оттенках связана с частичным разрушением, перераспреде-

нием и удалением клеток меланофор в процессе обработки рыбного сырья. Это также подтверждается грязно-темно-серым оттенком цвета жидкости, удаляемой в процессе промывки кожи.



Рис. 3. Внешний вид яблочного сока прямого отжима (слева, вид сбоку и сверху) и после 24 ч выдержки в нем кожи судака при 4 °С (справа)

Fig. 3. Appearance of straight-pressed apple juice (left, side and top view) and after 24 hours exposure of pike perch skin at 4 deg C (right)

После выдержки в яблочном соке рыбьей кожи (рис. 3) сок стал более светлым и менее прозрачным (мутным) по сравнению с исходным соком, что связано с абсорбционными свойствами коллагена кожи рыб, поэтому при набухании кожи (нажоре) вещества сока частично абсорбировались ею. Кроме того, сок стал менее кислым по сравнению с исходным.



Рис. 4. Внешний вид кожи судака (слева) и после выдержки ее в яблочном соке прямого отжима в течение 24 ч при 4 °С (справа)

Fig. 4. Appearance of pike-perch skin (left) and after soaking it in direct-pressed apple juice for 24 hours at 4 deg C (right)

Выдержанная (24 ч) в яблочном соке кожа судака (рис. 4) имела больший объем (толщину) и изменила цвет на аналогичный яблочному соку по сравнению с исходной кожей, что подтверждает абсорбирование ею веществ сока.



Рис. 5. Внешний вид яблочного сока прямого отжима (слева) и кожи судака (справа), выдержанной в соке в течение 48 ч при 4°С

Fig. 5. Appearance of direct-pressed apple juice (left) and pike-perch skin without scales (right), aged in juice for 48 hours at 4 deg C

Выдержанная (48 ч) в яблочном соке кожа судака (рис. 5) легко разрывалась (без усилий) и растиралась пальцами, поэтому ее измельчение (гомогенизация) проходило легко.



Рис. 6. Внешний вид высушенной кожи судака (сверху слева) без обработки (контроль) и образцов кожи, предварительно выдержанных в яблочном соке прямого отжима при 4 °С с различной продолжительностью обработки (24, 48, 72, 96, 120 и 144 ч) и высушенных (далее сверху и снизу)

Fig. 6. Appearance of dried pike-perch skin (top left) without treatment (control) and its samples preliminarily aged in direct-pressed apple juice at 4 deg C with different treatment times (24, 48, 72, 96, 120 and 144 h) and dried (top left on right and bottom)

Выдержанные в соке и высушенные образцы кожи (рис. 6) при ее незначительной толщине разламывались (с усилием пальцев) на отдельные полупрозрачные пластинки цвета яблочного сока, образцы большей толщины слегка растягивались при приложении значительных усилий. Исходный образец кожи не ломался, имел повышенную жесткость и цвет, свойственный покровной ткани рыб.



Рис. 7. Внешний вид высушенных и измельченных образцов кожи судака, предварительно выдержанных в яблочном соке прямого отжима при 4 °С с различной продолжительностью обработки (24, 48, 72, 96, 120 и 144 ч) (сверху слева направо и далее нижний ряд аналогично)

Fig. 7. Appearance of dried and crushed samples of pike perch skin, previously aged in apple juice of direct extraction at 4 °C with different treatment times (24, 48, 72, 96, 120 and 144 h) (from top left to right and then the bottom row is similar)

Выдержанные в соке и высушенные образцы кожи (рис. 7) измельчали до состояния порошков, имеющих тенденцию к комкованию.

Образец кожи судака без обработки в яблочном соке (контроль) измельчался с образованием нитеобразных мелких частиц (в виде ваты), имеющих поверхностный заряд (прилипание нитеобразных мелких частиц к поверхности стекла банки).

Воздействие природных органических кислот яблочного сока (яблочная, лимонная, молочная, янтарная и др.), являющихся слабыми электролитами, на коллаген кожи судака выражалось в увеличении массы кожи, ее толщины и абсорбции ею красящих компонентов яблочного сока (рис. 4, 8) [15].

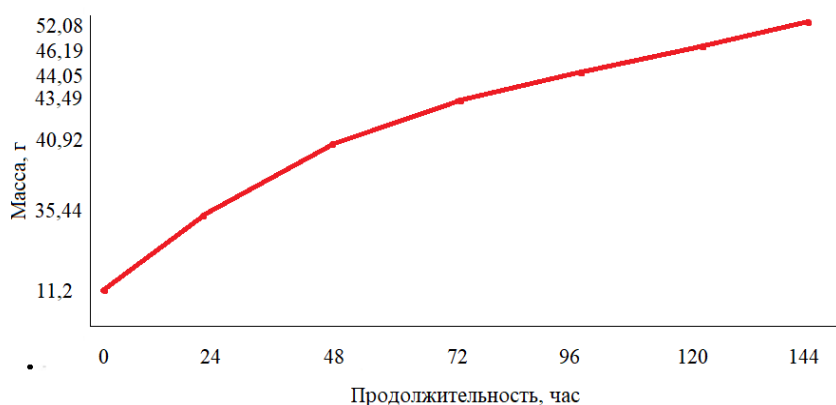


Рис. 8. Динамика изменения массы кожи судака в зависимости от продолжительности выдерживания ее в яблочном соке в массовом соотношении 1:10 при 4 °C

Fig. 8. Dynamics of change in mass of pike perch skin, depending on the duration of keeping it in apple juice in a mass ratio of 1:10 at 4 deg C

Согласно рис. 8, масса кожи судака при выдерживании в яблочном соке в течение 144 ч увеличилась в 4,47 раза (с 11,65 до 52,08 г) по сравнению с массой исходной (без обработки) кожи и в 8,93 раза – по сравнению с массой высушенной (5,83 г).

Отмечено некоторое снижение кислотности яблочного сока с pH 3,54 до 3,70 после выдержки в нем рыбьей кожи в течение 144 ч, что, вероятно, связано с наличием в коже щелочных металлов (Ca и др.), которые при взаимодействии с кислотами сока приводили к образованию солей, снижая содержание кислот.

Исходное содержание сухих веществ яблочного сока (12 %) после 24-часовой выдержки в нем кожи судака снизилось до 11,1 % и далее практически не изменялось, что связано с частичной абсорбцией коллагена рыбьей кожи сухих веществ яблочного сока.

ИК-спектры поглощения высушенной кожи судака без обработки (0sp) и ее образцов (1sp-6sp) после выдержки в яблочном соке представлены на рис 9.

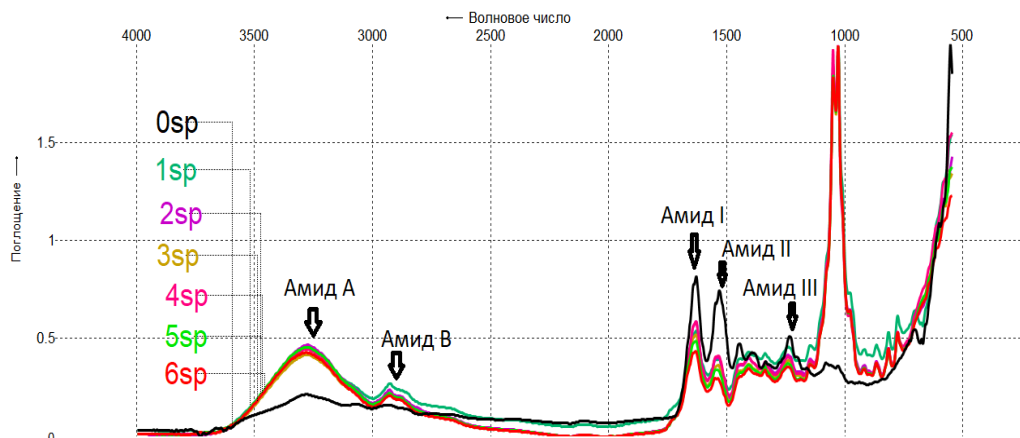


Рис. 9. ИК-спектры поглощения высушенной кожи судака без обработки (0sp) и ее образцов (1sp-6sp) после обработки (выдержки) в яблочном соке
Fig. 9. IR absorption spectra of dried pike perch skin and without treatment (0sp) and its samples (1sp-6sp) after treatment (exposure) in apple juice

ИК-спектры поглощения показывают наличие определенных функциональных групп коллагена (амид А, В, I, II и III). Амидная функциональная группа А была расположена в диапазоне $3278\text{--}3289\text{ см}^{-1}$, что указывает на присутствие аминогрупп (NH), участвующих в ассоциации водородных связей и имеющих сильную водородную связь. Функциональная группа амида В, расположенная в диапазоне $2928\text{--}2930\text{ см}^{-1}$, связана с асимметричными валентными колебаниями связей =CH и --NH .

Пик полосы поглощения в диапазоне $1631\text{--}1632\text{ см}^{-1}$ соответствует группе амида I, что обусловлено валентными колебаниями карбонильной группы (C=O) или водородной связью, соединенной с COO^- . Это указывает на наличие вторичной структуры белка.

Пик полосы поглощения в диапазоне $1532\text{--}1547\text{ см}^{-1}$ соответствует группе амида II, что обусловлено деформацией связи N--H в сочетании с валентными колебаниями групп C--N и N--H .

Пик полосы поглощения в диапазоне $1234\text{--}1240\text{ см}^{-1}$ соответствует группе амида III, что обусловлено деформационными колебаниями N--H от амидных связей и комплекса с межмолекулярными взаимодействиями в коллагене в виде растяжения C--N , изгиба N--H в плоскости от амидных связей.

Таким образом, общая характеристика ИК-спектров (рис. 9) высушенных образцов кожи судака, обработанной и необработанной яблочным соком, является типичной для спектров коллагена.

ИК-спектры поглощения исходного яблочного сока (0) и его образцов, отделенных от кожи судака после процедуры ее обработки (выдержки) в них (1, 3, 6), представлены на рис. 10.

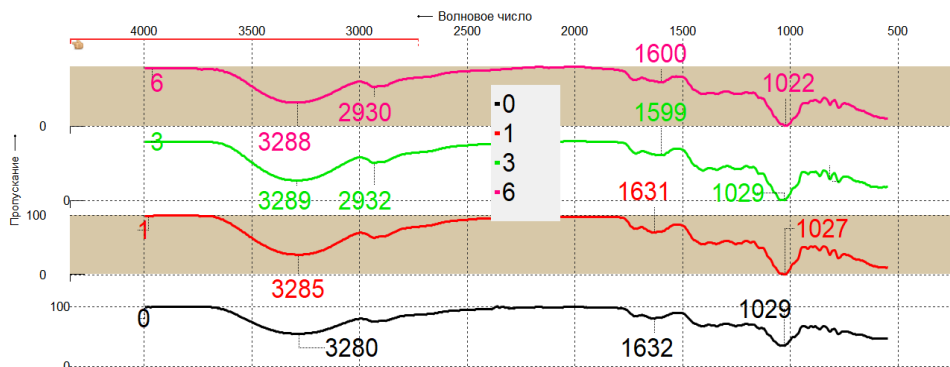


Рис. 10. ИК-спектры поглощения исходного яблочного сока (0) и его образцов (1sp-6sp), отделенных от кожи судака после процедуры ее обработки (выдержки) в них

Fig. 10. IR absorption spectra of the original apple juice (0) and its samples (1sp-6sp) separated from the pike-perch skin after its processing (exposure) in them

Сравнительный анализ ИК-спектров яблочного сока 0–6 показывает (рис. 10), что характер спектров подобен и присутствует интенсивный сигнал поглощения в диапазоне $1022\text{--}1029\text{ см}^{-1}$, характерный для деформационных колебаний связи C–O в гидроксильной группе.

ИК-спектры кожи судака (0sp) без обработки, а также ее образцов после выдержки в яблочном соке (2sp, 3sp, 5sp, 6sp) в диапазоне поглощения $1510\text{--}1550\text{ см}^{-1}$, амид II, представлены на рис. 11.

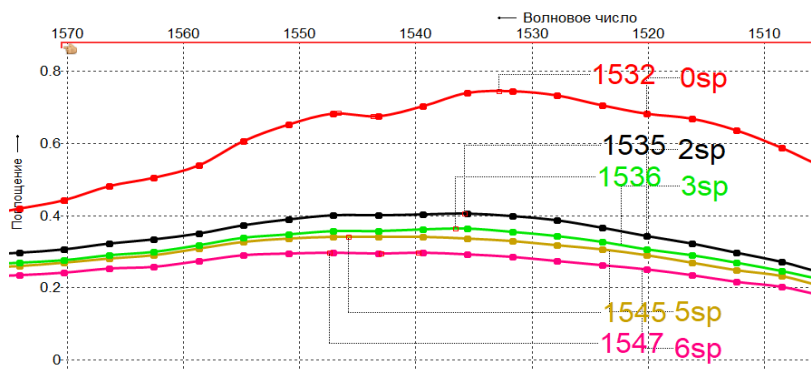


Рис. 11. ИК-спектры кожи судака (0sp) без обработки, а также ее образцов после выдержки в яблочном соке (2sp, 3sp, 5sp, 6sp) в диапазоне поглощения $1510\text{--}1550\text{ см}^{-1}$, амид II

Fig. 11. IR spectra of pikeperch skin (0sp) without treatment, as well as its samples after soaking in apple juice (2sp, 3sp, 5sp, 6sp) in the absorption range $1510\text{--}1550\text{ см}^{-1}$, amide II

На рис. 11 показано незначительное смещение максимума поглощения группы N–H в амиде II от 1532 см^{-1} до 1547 см^{-1} . Данное смещение, вероятно, обусловлено ослаблением межцепочечной (межнитевой) водородной связи N–H (Gly) O=C (Xaa).

Разница частот между максимумами поглощения амида I и амида II при увеличении продолжительности выдержки кожи в яблочном соке показана на рис. 12.

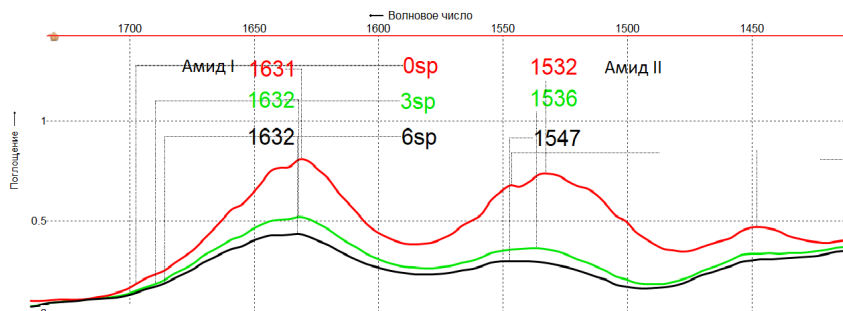


Рис. 12. ИК-спектры и максимумы поглощения амида I и амида II при увеличении продолжительности выдержки кожи судака в яблочном соке для образцов 0sp, 3sp и 6sp

Fig. 12. IR spectra and absorption maxima of amide I and amide II, with an increase in the duration of exposure of pikeperch skin in apple juice for samples 0sp, 3sp and 6s

Разница в волновых числах между амидами I и II (рис. 12), имеющая значение меньше 100 см^{-1} , а именно для 0sp, 3sp и 6sp, составляет соответственно 99 см^{-1} , 96 см^{-1} и 85 см^{-1} , что указывает на сохранение тройной спиральной структуры коллагена [16].

Представленный анализ рыбьего коллагенсодержащего гидрата из кожи судака согласуется с данными других исследователей [17–19].

Исходя из этого можно заключить, что полученная кожа судака, выдержанная в яблочном соке, представляет собой коллагеновый гидрат, который может быть использован в качестве загустителя, стабилизатора, гелеобразователя, пенообразователя и водоудерживающего агента при производстве коллагенсодержащих соков, джемов, йогуртов, конфет, хлебобулочных и кондитерских изделий и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выдерживание очищенной кожи судака в яблочном соке способствует увеличению ее толщины (назора), массы и абсорбции красящих компонентов яблочного сока, а также обеспечивает возможность ее гомогенизации (без значительных усилий) при получении однородного пищевого коллагенсодержащего гидрата.

Исследования измельченных образцов очищенной кожи судака как без обработки, так и с обработкой (выдержанных в яблочном соке), проведенные с помощью инфракрасного спектроскопического анализа, показали наличие функциональных групп коллагена (амид A, B, I, II и III).

Разница в волновых числах между амидами I и II в образцах кожи судака, выдержанных в яблочном соке, имеющая значение менее 100 см^{-1} , указывает на сохранение тройной спиральной структуры коллагена.

Полученный пищевой гидрат из кожи судака (с сохранением тройной спиральной структуры коллагена) может быть рекомендован в качестве как самостоятельного продукта, так и добавки в различные продукты питания.

Список источников

1. Клейменов И. Я. Пищевая ценность рыб. Москва: Пищевая промышленность, 1971. 151 с.
2. Степанцова Г. Е., Воробьев В. И. Биологическая ценность коллагенсодержащего сырья гидробионтов // Инновации в науке и образовании-2007: V Междунар. науч. конф. (23–25 окт.): тр. в 2 ч. Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2007. Ч. 1. С. 310–312.
3. The Art of Turning Fish into Leather: Hakai Magazine... URL: <https://hakaimagazine.com/features/the-art-of-turning-fish-into-leather/> (дата обращения: 22.05.2023).
4. How Fish Skin Leather Can Help Reduce Waste in a Seafood ... URL: <https://www.fishfulfuture.com/blog/fish-skin-leather> (дата обращения: 22.05.2023).
5. Исаев В. А. Кормовая рыбная мука. Москва: Агропромиздат, 1985. 189 с.
6. Gelatin from clown featherback skin: Extraction conditions / P. Kittiphattana-bawon, S. Benjakul, S. Sinthusamran, H. Kishimura // LWT-food Science and Technology. 2016. V. 66. P. 186–192.
7. Best Partner to Noodle Soup: Fried Fish Skin... URL: <https://guide.michelin.com/hk...hong-kong...article...fish-skin...> (дата обращения: 22.05.2023).
8. Guess what's for dinner? Healthy, nutritious fish by-product ... URL: <https://www.fao.org/blogs/blue-growth-blog/guess-whats-for-dinner-healthy...> (дата обращения: 22.05.2023).
9. Fish Skin Taste Reviews And Cooking Guides—My Chinese URL: <https://www.mychineserecipes.com/fish-skin-taste-revi...> (дата обращения: 22.05.2023).
10. The Fish Skin Obsessions Around the World – Michelin Guide. URL: <https://guide.michelin.com/article/features/fish-skin-delicacy-around-t...> (дата обращения: 22.05.2023).
11. Animal, plant, collagen and blended dietary proteins: effects on musculoskeletal outcomes / C. S. Deane, J. J. Bass, H. Crossland, B. E. Phillips, P. J. Atherton // Nutrients. 2020. V. 12. N 9. P. 2670. DOI: 10.3390/nu12092670.

12. Кременевская М. И. Научные основы технологий глубокой переработки коллагенсодержащего сырья для получения продуктов с заданными свойствами: дис. докт. техн. наук: 05.18.04. Санкт-Петербург, 2019. 405 с.
13. Collagen Derived from Fish Industry Waste: Progresses and Challenges / Z. Rajabimashhadi, N. Gallo, L. Salvatore, F. Lionetto // *Polymers*. 2023. V.15. N 3. P. 544. DOI: 10.3390/polym15030544.
14. Способ приготовления хлебобулочного изделия: заявка на пат. 2022123212 Рос. Федерация / Воробьев В. И., Чернега О. П., Сафронова Т. В., Нижникова Е. В.; заявл. 29. 08. 2022. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2022123212&TypeFile=html. (дата обращения: 25 мая 2023 г.).
15. Махмудов Л. Э., Алиева Н. И., Каримов М. М. Коллаген в растворах электролитов // Молодой ученый: электронный научный журнал. 2015. № 14 (94). URL: <https://moluch.ru/archive/94/20712/> (дата обращения: 23.05.2023).
16. Physical and chemical properties of gelatin from the skin of cultured *A mur sturgeon* (*A cipenser schrenckii*) / Nikoo M. et al. // *Journal of Applied Ichthyology*. 2013. V. 29. N 5. P. 943–950, <https://doi.org/10.1111/jai.12238>.
17. Characterization of collagen from three genetic lines (gray, red and F1) of *Oreochromis niloticus* (tilapia) skin in young and old adults / Reátegui-Pinedo N. et al. // *Molecules*. 2022. V. 27. N 3. P. 1123, <https://doi.org/10.3390/molecules27031123>.
18. One-pot green synthesis of nitrogen-doped carbon nanoparticles as fluorescent probes for mercury ions / Huang H. et al. // *Rsc Advances*. 2013. V. 3. N 44. P. 21691–21696. DOI: 10.1039/c3ra43452d.
19. Антипова Л. В., Сухов И. В., Котов И. И. Влияние условий обработки шкур толстолобика на структуру коллагена // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 4 (82). URL: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-4-53-57> (дата обращения: 30.05.2023).

References

1. Kleymyonov I. Ya. *Pishchevaya tsennost' ryb* [The nutritional value of fish]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1971, 189 p.
2. Stepantsova G. E., Vorob'ev V. I. Biologicheskaya tsennost' kollagensoderzhashchego syr'ya gidrobiontov [Biological value of collagen-containing raw materials of hydrobionts]. *Innovatsii v nauke i obrazovanii-2007: V Mezhdunar. nauch. konf. (23–25 okt.): tr. v 2 ch. Feder. Agentstvo po rybolovstvu; FGBOU VPO «KGTU»* [Innovations in science and education-2007: V Intern. scientific conf. (23–25 Oct.) Proc. in 2 parts. Feder. Fisheries Agency; FGBOU VPO "KSTU"]. Kaliningrad, 2007, pp. 310–312.
3. The Art of Turning Fish into Leather. *Hakai Magazine*..., available at: <https://hakaimagazine.com/features/the-art-of-turning-fish-into-leather/> (Accessed 22 May 2023).

4. How Fish Skin Leather Can Help Reduce Waste in a Seafood ..., available at: <https://www.fishfulfuture.com/blog/fish-skin-leather> (Accessed 22 May 2023).
5. Isaev V. A. *Kormovaya rybnyaya muka* [Feed fishmeal]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 189 p.
6. Kittiphattanabawon P., Benjakul S., Sinthusamran S., Kishimura H. Gelatin from clown featherback skin: Extraction conditions. *LWT-food Science and Technology*. 2016, vol. 66, pp. 186–192.
7. Best Partner to Noodle Soup: Fried Fish Skin..., available at: <https://guide.michelin.com/hk...hong-kong...article...fish-skin...> (Accessed 22 May 2023).
8. Guess what's for dinner? Healthy, nutritious fish by-product ..., available at: <https://www.fao.org › blogs › blue-growth-blog › guess-whats-for-dinner-healthy...> (Accessed 22 May 2023).
9. Fish Skin Taste Reviews And Cooking Guides – My Chinese ..., available at: <https://www.mychineserecipes.com › fish-skin-taste-revi.> (Accessed 22 May 2023).
10. The Fish Skin Obsessions Around the World – Michelin Guide. Available at: <https://guide.michelin.com › article › features › fish-skin-delicacy-around-t...> (Accessed 22 May 2023).
11. Deane C. S., Bass J. J., Crossland H., Phillips B. E., Atherton P. J. Animal, plant, collagen and blended dietary proteins: effects on musculoskeletal outcomes. *Nutrients*, 2020, vol. 12, no. 9, pp. 2670. DOI: 10.3390/nu12092670.
12. Kremenevskaya M. I. *Nauchnye osnovy tekhnologiy glubokoy pererabotki kollagensoderzhashchego syr'ya dlya polucheniya produktov s zadannymi svoystvami. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Scientific foundations of technologies for deep processing of collagen-containing raw materials to obtain products with desired properties. Dis. dr. tech. sci.] Saint-Petersburg, 2019, 405 p.
13. Rajabimashhadi Z., Gallo N., Salvatore L., Lionetto F. Collagen Derived from Fish Industry Waste: Progresses and Challenges. *Polymers*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 544. DOI: 10.3390/polym15030544.
14. Vorob'ev V. I., Chernega O. P., Safronova T. V., Nizhnikova E. V. Sposob prigotovleniya khlebobulochnogo izdeliya [Bakery preparation method]. Zayavka na patent RF, no. 2022123212, 2023.
15. Makhmudov L. E., Alieva N. I., Karimov M. M. Kollagen v rastvorakh elektrolitov [Collagen in electrolyte solutions]. *Molodoy uchenyy*, 2015, no. 14 (94), available at: <https://moluch.ru/archive/94/20712/> (Accessed 24 May 2023).
16. Nikoo M. et al. Physical and chemical properties of gelatin from the skin of cultured A mur sturgeon (A cipenser schrenckii). *Journal of Applied Ichthyology*, 2013, vol. 29, no. 5, pp. 943–950, <https://doi.org/10.1111/jai.12238>.
17. Reátegui-Pinedo N. et al. Characterization of collagen from three genetic lines (gray, red and F1) of *Oreochromis niloticus* (tilapia) skin in young and old adults. *Molecules*, 2022, vol. 27, no. 3, pp. 1123, <https://doi.org/10.3390/molecules27031123>.

18. Huang H. et al. One-pot green synthesis of nitrogen-doped carbon nanoparticles as fluorescent probes for mercury ions. *Rsc Advances*, 2013, vol. 3, no. 44, pp. 21691–21696. DOI: 10.1039/c3ra43452d.

19. Antipova L. V., Sukhov I. V., Kotov I. I. Vliyanie usloviy obrabotki shkur tolstolobika na strukturu kollagena [Influence of procesing conditions of silver carpskins on the structure of collagen]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2019, vol. 81, no. 4 (82), available at: <http://vestnik.voronezh.ru/content/view/54/30/> (Accessed 30 May 2023).

Информация об авторах

В. И. Воробьев – кандидат технических наук, доцент кафедры химии

А. Г. Булычев – кандидат химических наук, доцент кафедры химии

Е. В. Нижникова – кандидат биологических наук, доцент кафедры химии

Information about the authors

V. I. Vorob'ev – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemistry

A. G. Bulychev – PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Chemistry

E. V. Nizhnikova – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Chemistry

Статья поступила в редакцию 31.05.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 22.06.2023.

The article was submitted 31.05.2023; approved after reviewing 15.06.2023; accepted for publication 22.06.2023.