

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МАШИНЫ И АППАРАТЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

TECHNOLOGICAL PROCESSES, MACHINES AND APPARATUS FOR PROCESSING AQUATIC BIORESOURCES

Научная статья
УДК 664.95.022.2(06)
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-4-114-124>
EDN XMLISX

Изменение органолептических и физических характеристик кожи судака при ее обработке в натуральных соках

Виктор Иванович Воробьев[✉],
Ольга Павловна Чернега, Кристина Евгеньевна Ленц

*Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, viktor.vorobev@kltgu.ru*[✉]

Аннотация. Проведены исследования по влиянию натуральных овощных и фруктовых соков (тыквенный, томатный, яблочный) и их смесей, содержащих слабые органические кислоты и используемых в качестве жидкой среды для гидратации предварительно обработанной кожи судака (*Sander lucioperca*), на степень ее размягчения, которое происходит в результате гидратации молекул коллагена рыбного сырья в смеси с натуральными соками, сопровождающейся увеличением его массы и толщины. Определено, что исходная рыба кожа толщиной 0,18–1,00 мм по окончании процесса гидролиза имела толщину 2,6–6,3 мм (яблочный сок), 2,12–4,01 мм (тыквенный) и 0,69–2,08 мм (томатный), а масса кожи увеличилась на 400, 257,5 и 230 % соответственно. Отмечено, что, несмотря на значительное набухание (увеличение объема), кожа сохраняла форму в течение всего процесса гидролиза (до 30 сут в томатном соке), что говорит о слабой степени гидролиза сырья и сохранении природной формы молекулы рыбного коллагена. Показано, что гидролизованная смесь легко гомогенизируется с получением однородной массы, являющейся сокосодержащим гидратом рыбного коллагена (пищевая добавка). Представлена динамика изменения pH различных соков и их смесей в зависимости от продолжительности процесса гидролиза с рыбьей кожей, которая зависит от вида применяемого сока и имеет общую тенденцию к раскислению получаемого конечного продукта по сравнению с используемым соком. Определены значения пиковых нагрузок на прокол иглой и разрыв рыбьей кожи, показавшие значительное их снижение в процессе гидролиза по сравнению с сырой кожей.

Ключевые слова: рыбный коллаген, гидрат, фруктовый и овощной соки, рыба кожа, гидролиз

Для цитирования: Воробьев В. И., Чернега О. П., Ленц К. Е. Изменение органолептических и физических характеристик кожи судака при ее обработке в натуральных соках // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 4. С. 114–124. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-4-114-124>. EDN XMLISX.

Original article

Change of organoleptic and physical characteristics of pikeperch skin during its processing in natural juices

Viktor I. Vorob'ev[✉], Olga P. Chernega, Kristina E. Lenz

Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, viktor.vorobev@klgtu.ru[✉]

Abstract. Studies have been conducted on the effect of natural vegetable and fruit juices (pumpkin, tomato, apple) and their mixtures containing weak organic acids and used as a liquid medium for hydration of pre-treated walleye fish skin (*Sander lucioperca*) on the degree of its softening, which occurs as a result of hydration of collagen molecules of fish raw materials in the mixture with natural juices, accompanied by an increase in its mass and thickness). It was determined that the initial fish skin with a thickness of 0.18-1.00 mm at the end of the hydrolysis process had a thickness of 2.6-6.3 mm (apple juice), 2.12-4.01 mm (dried) and 0.69-2.08 mm (tomato), and the skin weight increased by 400, 257.5 and 230%, respectively. It was noted that, despite significant swelling (increase in volume), the skin retained its shape during the entire hydrolysis process (up to 30 days in tomato juice), which indicates a weak degree of hydrolysis of raw materials and preservation of the natural shape of the fish collagen molecule. It is shown that the hydrolyzed mixture is easily homogenized to obtain a homogeneous mass, which is a juice-containing hydrate of fish collagen (food additive). The dynamics of pH changes in various juices and their mixtures is presented depending on the duration of the hydrolysis process with fish skin, which depends on the type of juice used and has a general tendency to deoxidation of the resulting final product compared with the juice used. The values of peak loads for needle puncture and rupture of fish skin were determined, which showed a significant decrease in their hydrolysis process, compared with raw skin.

Keywords: fish collagen, hydrate, fruit and vegetable juice, fish skin, hydrolysis

For citation: Vorob'ev V. I., Chernega O. P., Lenz K. E. Change of organoleptic and physical characteristics of pikeperch skin during its processing in natural juices. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry. 2024;4:114-124.* (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-4-114-124>. EDN XMLISX.

Введение

Рыбья кожа, составляющая от 2,0 до 12,6 % от общей массы рыбы, является значимым побочным ресурсом рыбной отрасли, потенциал которой используется лишь частично [1, 2]. Основным компонентом рыбьей кожи является коллаген, составляющий около 70 % ее массовой доли сухого вещества [3–5].

Кожа рыб может быть непосредственно использована в качестве добавки в продуктах питания. Жареная закуска из кожи рыб имеет огромную популярность в Китае, Филиппинах, Тайване, Сингапуре, Таиланде.

Снеки из кожи рыб с различными добавками и брендами (Crispy Fish Skin, Four Seas, Pogs, Snacky & Crisps, Crispy fish skin chicharrons, Golden Duck, Pacific и др.) широко распространены в странах Юго-Восточной Азии и быстро приобретают популярность в Америке и Европе [6–9]. Крекеры с добавкой рыбьей кожи распространены в Индонезии [10]. Кожа рыб является компонентом салатов, закусок, приправ, супов, маринадов и начинки в суши-роллах [11].

Сухие смеси с рыбьей кожей применяются в составе кондитерских, кулинарных, макаронных, хлебобулочных изделий, а также приправ, маринадов, супов, соусов и другой продукции [11, 12].

Основным направлением переработки рыбьей кожи в качестве сырья является производство малорентабельной кормовой рыбной муки [13, 14].

Одним из перспективных направлений перера-

ботки кожи рыб является получение коллагеновых (желатиновых) гидролизатов, используемых в различных отраслях (медицина, косметика, пища и др.) [15]. Процесс гидролиза (расщепление коллагена в жидкой среде под действием кислот, щелочей, ферментов, физических методов и др.), как правило, продолжителен по времени, сопровождается значительными потерями сырья и, соответственно, малым выходом готовой продукции, использованием больших объемов применяемых жидкостей и необходимостью их нейтрализации с образованием солей, требует высоких энергозатрат, получаемый продукт может быть горьким на вкус и иметь рыбный запах, что существенно ограничивает его применение в промышленных масштабах [16, 17].

Таким образом, возникает необходимость изыскания экономически приемлемого способа переработки рыбьей кожи для получения пищевой добавки.

Уникальность рыбного (незрелого) коллагена заключается в его способности под действием слабых органических кислот переходить в растворимое состояние, сохраняя при этом природную структуру (три полипептидные цепи, скрученные между собой) [18].

Известны способы получения коллагеносодержащих продуктов, где в качестве сырья используется рыбья кожа, а гидролизной средой (пищевого компонента смеси, не требующей нейтрализации) являются натуральные жидкости природного происхождения, содержащие хотя бы одну органиче-

скую кислоту (фруктовые, овощные соки, молоко и продукты его переработки и др.) [19, 20].

Цель работы заключалась в оценке влияния слабых органических кислот натуральных фруктовых и овощных соков на структуру (степень размягчения и набухания) рыбьей кожи с возможностью гомогенизации смеси и получения пищевой добавки (гидрата).

Материалы и методы

Исходным сырьем для получения образцов пищевой добавки (в виде сокодержашего гидрата рыбного коллагена) являлась кожа судака обыкновенного (*Sander lucioperca*), вылавливаемого в акватории Калининградской области, полученная от разделки на обесчуренное филе, а также фруктовые и овощные соки промышленного производства (яблочный сок прямого отжима агрофабрики «Натурово», томатный сок без соли с мякотью «Сады Придонья», сок тыквенный с мякотью «Сок Полезный») и пищевая лимонная кислота.

Процесс подготовки рыбьей кожи для получения гидрата осуществляли аналогично способу получения пищевых коллагенсодержащих продуктов, раз-

работанному ранее, с некоторыми изменениями [20]. Рыбью кожу с чешуей (внутренняя сторона) предварительно очищали от прирезей мяса, помещали в полимерную сетку (размер ячеек $3,0 \times 3,0$ мм), которую загружали в перфорированный барабан автоматической стиральной машины (модель LG F2WN2S6S3E; LG, Вроцлав, Польша), обрабатывали при температуре 20°C в течение 30 мин и отжимали (1 000 об/мин). Промытую кожу порциями (0,4 кг) помещали в двухскоростной смеситель Moulinex Delico FP203 (500 Вт) вместе с пищевой солью NaCl (20 г) и обрабатывали (1 000 об/мин) в течение 5 мин до полного отделения чешуи от кожи. Образовавшуюся смесь промывали водой для удаления соли и красящих веществ (определяли на вкус и визуально) и фракционировали при помощи вращающегося сетчатого барабана, получая очищенную от чешуи кожу и чешую. Далее кожу погружали в емкость с водой при массовом соотношении 1 : 4 с добавлением пищевой поваренной соли и соды (NaHCO_3) в количестве 5 и 1 % соответственно от массы рыбного сырья и выдерживали при комнатной температуре в течение 40 мин, затем жидкость сливали, а кожу промывали для удаления соли и красящих веществ (рис. 1).



Рис. 1. Сырая (а) и предварительно обработанная (б) кожа судака

Fig. 1. Raw (a) and pre-treated (b) pikeperch skin

Обработанную кожу помещали в стеклянную тару, заливали ее соком в массовом соотношении 1 : 4,5. В опытную партию с тыквенным и томатным соком добавляли 0,1 % лимонной кислоты от массы

рыбной дисперсии. Стеклянные банки закрывали крышками, маркировали и помещали в холодильник с температурой $4 \pm 2^\circ\text{C}$ (рис. 2).



Рис. 2. Опытные партии образцов рыбьей кожи в различных соках (яблочный, томатный, тыквенный)

Fig. 2. Experimental batches of fish skin samples in different juices (apple, tomato, pumpkin)

Было приготовлено и заложено в холодильник 5 партий опытных образцов рыбьей кожи с различными соками: 1 – с яблочным соком (РКябл), 2 – с тыквенным соком (РКтык), 3 – с тыквенным соком и добавлением 0,1 % лимонной кислоты (РКтык + к-та), 4 – с томатным соком (РКтом) и 5 – с томатным соком и добавлением 0,1 % лимонной кислоты (РКтом + к-та).

В процессе исследования проводили измерение толщины кожи с помощью электронного штангенциркуля Mitutoyo (Япония) с точностью измерения 0,01 мм. Определение массы рыбьей кожи до гидролиза и после него осуществляли на аналитических весах Scout Pro SPS202F, дискретность 0,01 г (II высший класс точности). Титруемую кислотность определяли по ГОСТ ISO 750-2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности», активную кислотность – при помощи электронного рН-метра HI98103 Ханна с точностью $\pm 0,2$ рН. Изменение степени прочности (размягчения) рыбьей кожи в процессе кислотного гидролиза (методом прокола) определяли при помощи прибора Brookfield CT3 Texture Analyzer.

Результаты исследования и их обсуждение

Термин «гидролиз коллагена» в общем обозначает процесс расщепления молекул коллагена на более мелкие его составляющие в присутствии молекул воды.

Термин «гидрат коллагена» обозначает связанную с водой молекулу коллагена, сохраняющую свое природное (нативное) состояние в виде спирали, состоящей из трех полипептидных цепей, которые плотно скручены друг вокруг друга, и называемой тропоколлагеном [21, 22].

Уникальной особенностью коллагена рыбьей кожи (I типа) является его способность переходить в растворимое состояние и набухать (гидратироваться) в растворах слабых органических кислот

без разрушения молекулы тропоколлагена, тем не менее, некоторое количество, например, слабых водородных поперечных связей между его тремя полипептидными цепями очевидно разрушаются, способствуя проникновению жидкости между ними с последующей гидратацией коллагена (данный процесс известен как «нажор» кожи, который может быть как обратимым, так и необратимым).

С некоторым допущением можно сказать, что одной из основных задач исследования было прекращение процесса гидролиза коллагена рыбьей кожи на его первой стадии (гидратации рыбного сырья, позволяющего получить однородную смесь после его гомогенизации), по возможности, до момента начала (следующая стадия гидролиза) непосредственного расщепления (распада тройной цепи) молекул тропоколлагена (основной субъединицы коллагена).

Натуральные природные жидкости, такие как фруктовые и овощные соки, их смеси и кисломолочные продукты переработки молока, содержащие слабые органические кислоты в незначительных количествах (до 1,5 %), могут быть использованы в качестве гидролизной среды для коллагенсодержащего побочного сырья (кожа, чешуя и др.) без необходимости последующей их нейтрализации щелочью с образованием солей, что позволяет значительно снизить себестоимость получаемой рыбной коллагенсодержащей дисперсии (гидрата). Ключевым фактором окончания процесса гидролиза является органолептический показатель – возможность растирания пальцами рук гидролизованной рыбьей кожи без приложения усилий, что позволит гомогенизировать смесь (кожа + сок) с получением однородной массы (пищевой добавки).

Внешний вид кожи судака в различных соках в зависимости от продолжительности процесса ее гидролиза представлен на рис. 3–7.



Рис. 3. Внешний вид кожи судака (в том числе отделенной от жидкой части смеси (РКябл)) в зависимости от продолжительности ее гидролиза: а – 0 (контроль); б – 3 день; в – 7 день

Fig. 3. Appearance of pikeperch fish skin (including separated from the liquid part of the mixture (FSapp)) depending on the duration of its hydrolysis: а – 0 (control); б – 3 day; в – 7 day



Рис. 4. Внешний вид кожи судака (в том числе отделенной от жидкой части смеси (РКтык)) в зависимости от продолжительности ее гидролиза: а – 0 (контроль); б – 7 день; в – 12 день; г – 26 день

Fig. 4. Appearance of pikeperch fish skin (including separated from the liquid part of the mixture (FSpum)) depending on the duration of its hydrolysis: а – 0 (control); б – 7 day; в – 12 day; г – 26 day



Рис. 5. Внешний вид кожи судака (в том числе отделенной от жидкой части смеси (РКтык + к-та)) в зависимости от продолжительности ее гидролиза: а – 0 (контроль); б – 7 день; в – 12 день; г – 19 день

Fig. 5. Appearance of pikeperch fish skin (including separated from the liquid part of the mixture (FSpum + acid)) depending on the duration of its hydrolysis: а – 0 (control); б – 7 day; в – 12 day; г – 19 day

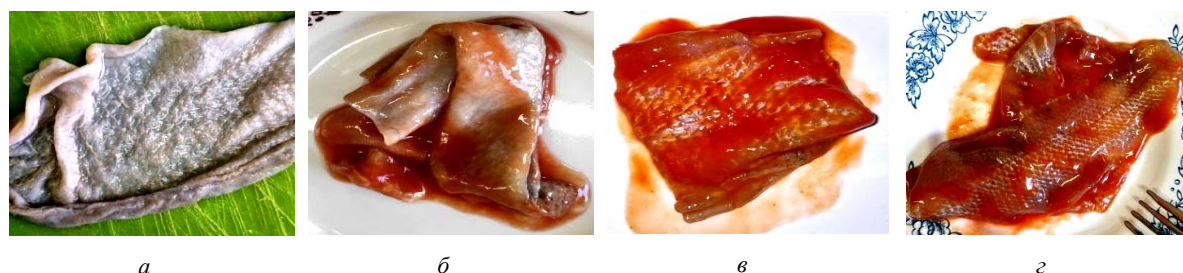


Рис. 6. Внешний вид кожи судака (в том числе отделенной от жидкой части смеси (РКтом)) в зависимости от продолжительности ее гидролиза: а – 0 (контроль); б – 7 день; в – 12 день; г – 30 день

Fig. 6. Appearance of pikeperch fish skin (including separated from the liquid part of the mixture (FStom)) depending on the duration of its hydrolysis: а – 0 (control); б – 7 day; в – 12 day; г – 30 day

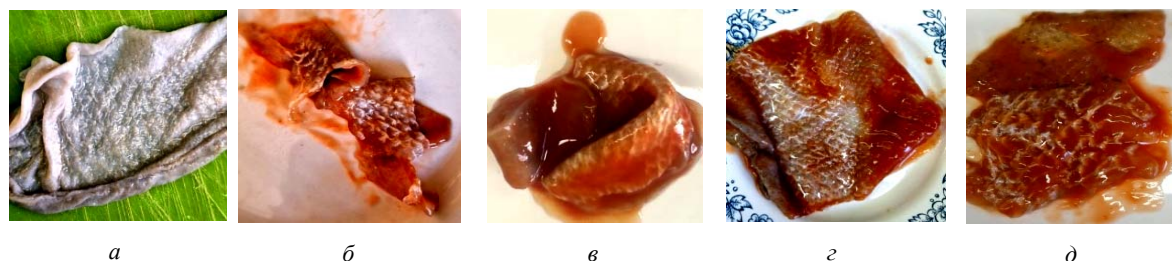


Рис. 7. Внешний вид кожи судака (в том числе отделенной от жидкой части смеси (РКтом + к-та)) в зависимости от продолжительности ее гидролиза: а – 0 (контроль); б – 5 день; в – 7 день; г – 12 день; д – 26 день

Fig. 7. Appearance of pikeperch fish skin (including separated from the liquid part of the mixture (FStom + acid)) depending on the duration of its hydrolysis: а – 0 (control); б – 5 day; в – 7 day; г – 12 day; д – 26 day

Несмотря на значительную продолжительность процесса гидролиза, рыба кожа (даже в сильно набухшем состоянии) сохраняла форму (см. рис. 3–7), что говорит о ее незначительной степени гидролиза, это также подтверждается другими исследователями [23]. Получаемый продукт сильно гидратирован (увеличение массы и объема за счет связывания молекул воды сока) и фактически является гидра-

том коллагена (с сохранением трехспиральной структуры нативной молекулы тропоколлагена), что также подтверждено более ранними исследованиями [24].

Изменение толщины и массы кожи судака в процессе гидролиза в различных соках представлено в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Изменение толщины и массы кожи судака в процессе гидролиза в различных соках
Changes in thickness and weight of pikeperch fish skin during hydrolysis in different juices

Исследуемый показатель	Сырая рыба кожа	Гидролизованная кожа с соком				
		яблочным	тыквенным	тыквенным с кислотой	томатным	томатным с кислотой
Толщина, мм	0,18–1,00	2,60–6,30	2,12–4,01	2,35–3,54	0,69–2,08	1,27–2,80
Масса, %	100,0	440,0	257,5	319,0	230,0	265,3

Толщина кожи судака в процессе гидролиза в различных соках изменялась от 0,18 до 6,60 мм (см. табл. 1), максимальное увеличение массы рыбьей кожи наблюдалось в яблочном соке (440 %), а ми-

нимальное в томатном соке (230 %).

Динамика изменения массы рыбьей кожи в зависимости от продолжительности процесса гидролиза представлена на рис. 8.

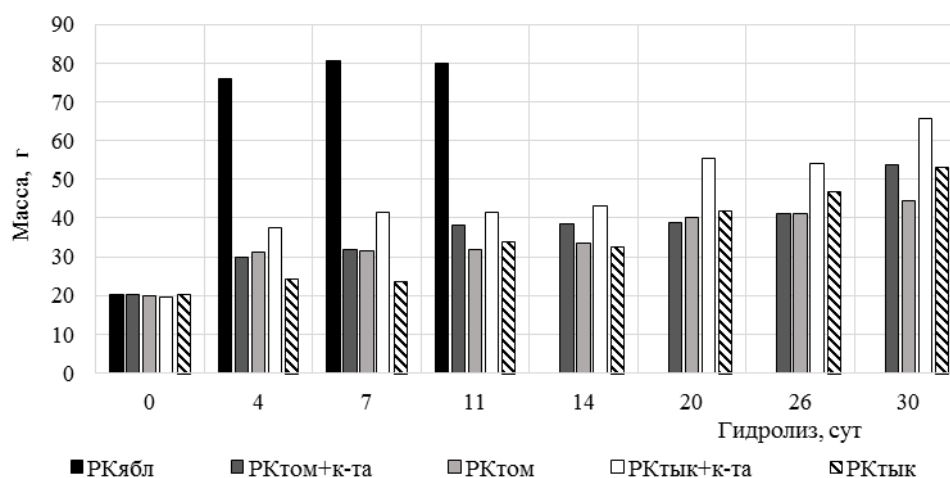


Рис. 8. Динамика изменения массы кожи судака в зависимости от продолжительности процесса гидролиза

Fig. 8. Dynamics of change in the weight of pikeperch fish skin depending on the duration of the hydrolysis process

Продолжительность гидролиза рыбьей кожи зависит от вида применяемого натурального сока (массовой доли, количества и вида органических кислот) и ряда других факторов (см. рис. 8). Очевидно, что яблочный сок, имеющий более высокое содержание органических кислот, способствует более значительному набуханию (и увеличению мас-

сы) рыбьей кожи (значительно уменьшая ее прочность) в течение менее продолжительного промежутка времени по сравнению с другими соками.

Динамика изменения pH различных соков и их смесей в зависимости от продолжительности процесса гидролиза с кожей судака представлены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Динамика изменения pH различных соков и их смесей в зависимости от продолжительности процесса гидролиза с кожей судака

Dynamics of pH change of different juices and their mixtures depending on the duration of hydrolysis process with pikeperch fish skin

Смесь рыбьей кожи с соком	pH сока	Продолжительность кислотного гидролиза рыбьей кожи, сут						
		3	7	12	19	22	26	30
РКябл	3,24	3,69	3,95			–		
РКтык	4,16	–	4,32	4,82	5,10	5,62	5,84	–
РКтык + к-та	3,09	–	4,29	4,11	4,17		–	
РКтом	3,81	–	4,25	4,27		4,28		4,30
РКтом + к-та	3,68	–	4,04	4,09	4,14	4,27	4,32	–

Наблюдается общая тенденция раскисления полученных смесей кожи судака с различными соками в процессе гидролиза по отношению к исходным значениям pH используемых соков (см. табл. 2).

Известно, что преобладающей кислотой в яблочном и тыквенном соках является яблочная, а в томатном – лимонная, поэтому определяли общую

титруемую кислотность, в том числе в пересчете на яблочную кислоту [25].

Общая титруемая кислотность и титруемая кислотность в пересчете на яблочную кислоту используемых соков, а также динамика изменений их значений в зависимости от продолжительности процесса гидролиза с кожей судака представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Table 3

Общая титруемая кислотность и титруемая кислотность соков в пересчете на яблочную кислоту

Total titratable acidity and titratable acidity of juices in terms of malic acid

Сок	Общая титруемая кислотность, ммоль Н ⁺ на 100 г	Титруемая кислотность в пересчете на яблочную кислоту, %
Яблочный	7,3	0,49
Томатный	7,0	0,46
Томатный с лимонной кислотой (0,1 %)	8,7	0,58
Тыквенный	2,8	0,19
Тыквенный с лимонной кислотой (0,1 %)	8,5	0,56

Таблица 4

Table 4

Динамика изменения общей титруемой кислотности и титруемой кислотности в пересчете на яблочную кислоту различных соков и их смеси в зависимости от продолжительности процесса гидролиза с кожей судака

Dynamics of changes in total titratable acidity and titratable acidity in terms of malic acid of different juices and their mixture depending on the duration of the hydrolysis process with pikeperch fish skin

Смесь рыбьей кожи с соком	Общая титруемая кислотность, ммоль Н ⁺ на 100 г (числитель) / титруемая кислотность (знаменатель) в пересчете на яблочную кислоту, %, в зависимости от продолжительности процесса гидролиза, сут						
	3	7	12	19	22	26	30
РКябл	1,9 / 0,127	2,1 / 0,140			–		
РКтык	–	1,9 / 0,127	2,1 / 0,140	2,7 / 0,180	3,0 / 0,201	3,2 / 0,214	–
РКтык + к-та	–	3,0 / 0,201	3,3 / 0,221	3,5 / 0,449		–	
РКтом	–	5,8 / 0,388	6,3 / 0,422	–	6,8 / 0,456	7,0 / 0,469	8,5 / 0,569
РКтом + к-та	–	6,9 / 0,462	7,0 / 0,469	7,8 / 0,522	8,1 / 0,542	8,2 / 0,549	–

По данным табл. 3 и 4 видно, что на динамику изменения титруемой кислотности в процессе гидролиза рыбьей кожи влияет вид применяемого в качестве гидролизной среды сока.

Для изучения изменения текстуры рыбьей кожи

в процессе гидролиза были проведены испытания на прокол и разрыв на приборе Brookfield CT3 Texture Analyzer, дающие представление о размягчении ткани.

Исследования проводили на протяжении всего процесса гидролиза рыбьей кожи.

Прочность и эластичность рыбьей кожи обусловлены наличием коллагена. На значения прочности кожи влияет место прокола. В разных участках – от головы до хвоста, от спинки к брюшку – прочность и толщина кожи судака различна. На спине и ближе к хвостовой части кожа более толстая и прочная. Поэтому при исследовании для сопоставимости результатов использовали цен-

тральную часть поверхности кожи рыбы между спинным плавником и ее животом.

Гидролизированный кусочек кожи помещали под игольчатый зонд (диаметр иглы 2 мм). Зонд опускался со скоростью 2 мм/с и силой воздействия 0,1 N. Площадь зонда 0,64 см² (площадь после иглы).

На приборе Brookfield исследовались образцы сырой и гидролизованной рыбьей кожи (рис. 9).



Рис. 9. Разрыв ткани в момент пиковой нагрузки всей площадью зонда в конце гидролиза на приборе Brookfield CT3 Texture Analyzer (справа)

Fig. 9. Tissue rupture at the time of peak loading with the entire probe area at the end of hydrolysis on the Brookfield CT3 Texture Analyzer (right)

При проведении эксперимента на сырой коже судака конусный кончик иглы зонда (толщина основной части иглы до ее конуса 2 мм) вошел в кожу примерно на 1 мм, при пиковой нагрузке от 9,0 до 19,0 N, но разрыва кожи при данной нагрузке не происходило. Кожа далее растягивалась (пиковая нагрузка составила от 13,0 до 32,0 N), создавая своеобразный конус (иглолка оставалась в коже в одном и том же положении без ее разрыва). Следова-

тельно, значений пиковой нагрузки на разрыв не наблюдалось. В гидролизованной коже на начальном этапе процесса иглолка проходила через кожу с незначительным усилием (до 3 N), а в конце гидролиза без заметного усилия (0,3–1,8 N), при этом происходил разрыв кожи по всей площади зонда (плоский участок в месте крепления иглы (см. рис. 9.)), а значения пиковой нагрузки были значительно меньше по сравнению с исходным сырьем (табл. 5).

Таблица 5

Table 5

Значения пиковых нагрузок на прокол и разрыв кожи судака в зависимости от продолжительности ее гидролиза в различных соках

Values of peak loads for puncture and rupture of walleye fish skin depending on the duration of its hydrolysis in various juices

Гидролиз, сут	Нагрузка, N					
	Сырая рыбья кожа	РКябл	РКтык	РКтык + к-та	РКтом	РКтом + к-та
0	(9,0–19,0) – (13,0–32,0)					
3	–	1,90–3,10			–	
7		0,50–1,40			–	
12		–		0,3–1,8	–	0,35–0,62
19		–	0,60–1,90	0,7–1,2	0,3–1,8	0,45–1,10
22		–	0,52–1,40	–	0,7–1,2	0,42–1,20
26		–	–	–	0,3–1,8	0,30–1,0
30		–	–	–	0,7–1,2	–

Согласно данным табл. 5, можно утверждать, что сила, необходимая для разрыва гидролизованной кожи всей площадью зонда, на порядок меньше, чем для попытки прокола иглой сырой рыбьей кожи при нагрузке (9,0–32,0 N), что говорит о ее значительной прочности. К концу гидролиза (для всех образцов) усилия для разрыва кожи площадью

зонда находились в диапазоне от 0,3 до 1,9 N.

Необходимо отметить, что кожа судака сильно набухала во всех партиях, за исключением РКтом + к-та и РКтом, что является предметом будущих исследований.

Внешний вид гидролизованных РКтык и РКтом представлен на рис. 10.

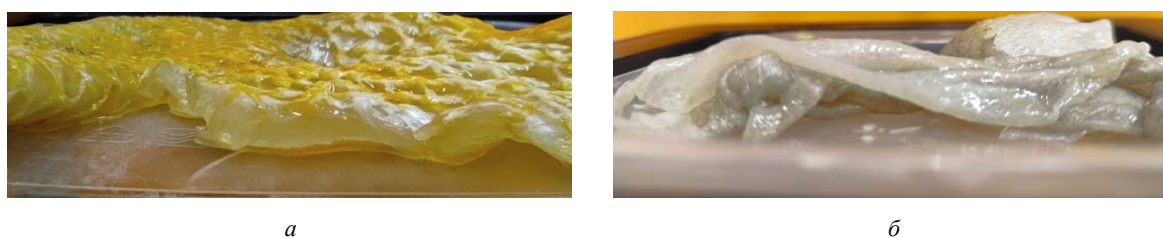


Рис. 10. Внешний вид гидролизированных рыбьих кож: а – РКтык; б – РКтом

Fig. 10. Appearance of hydrolysed fish skins: a – FSpum; б – FStom

Несмотря на разную степень набухания кожи рыб (см. рис. 10), все образцы были мягкими, легко гомогенизировались, образовавшаяся масса была однородной (рис. 11).

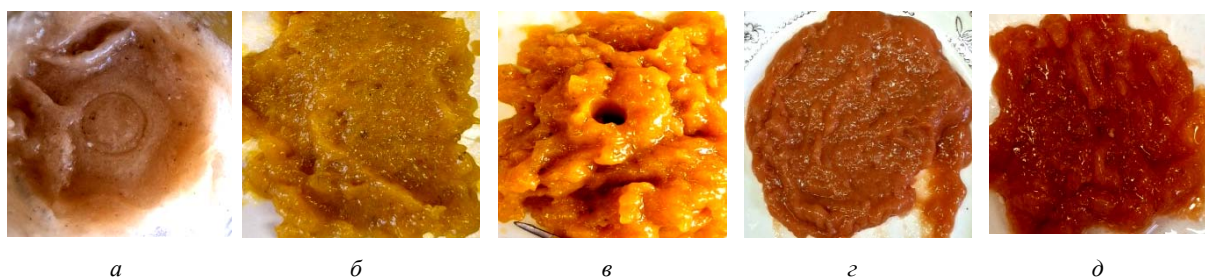


Рис. 11. Гомогенизированная рыбная коллагенсодержащая пищевая добавка (гидрат) на основе натурального сока: а – РКябл; б – РКтык; в – РКтык + к-та; г – РКтом; д – РКтом + к-та

Fig. 11. Homogenized fish collagen-containing food additive (hydrate) based on natural juice: а – FSapp; б – FSpum; в – FSpum + acid; г – FStom; д – FStom + acid

Полученная пищевая добавка (см. рис. 11) может быть использована непосредственно в качестве компонента при получении хлебобулочных кондитерских, кулинарных изделий, фаршевой и желеобразной продукции, мороженого, коктейлей, напитков, соусов и др. либо храниться в охлажденном или замороженном виде до обработки. Вкус добавки определяется применяемым для гидролиза соком или жидкостью.

Заклучение

Исследовано влияние слабых органических кислот фруктовых и овощных соков в качестве гидролизной среды для кожи судака на степень ее размяг-

чения (увеличения толщины и массы).

Определено, что сильно набухшая кожа судака в процессе ее кислотного гидролиза сохраняла форму и легко гомогенизировалась с получением однородной массы (сокосодержащего гидрата рыбного коллагена).

Определено, что на степень набухания рыбьей кожи в процессе ее кислотного гидролиза влияет вид используемого в качестве гидролизной среды сока.

Дальнейшие исследования будут связаны с применением сокосодержащего гидрата рыбного коллагена в качестве компонента рецептур различной пищевой продукции.

Список источников

1. Степанцова Г. Е., Воробьев В. И. Биологическая ценность коллагенсодержащего сырья гидробионтов // Инновации в науке и образовании – 2007: тр. V Междунар. науч. конф. (Калининград, 23–25 октября 2007 г.). Калининград: Изд-во КГТУ, 2007. Ч. 1. С. 310–312.
2. Купина Н. М., Поваляева Н. Т., Герасимова Н. А. Характеристика белков шкуры кеты // Изв. высш. учеб. заведений. Пищевая технология. 1994. № 3-4. С. 10–11.
3. Jafari H., Lista A., Siekapan M. M., Ghaffari-Bohlouli P., Lei Nie, Alimoradi H., Shavandi A. Fish collagen: Extraction, characterization, and applications for biomaterials engineering // Polymers. 2020. V. 12. N. 10. P. 2230. <https://doi.org/10.3390/polym12102230>.
4. Oslan S. N. H., Li C. X., Shapawi R., Mokhtar R. A. M., Noordin W. N. M., Huda N. Extraction and characterization of bioactive fish by-product collagen as promising for potential wound healing agent in pharmaceutical applications: Current trend and future perspective // International Journal of Food Science. 2022. V. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9437878>.
5. Blanco M., Vázquez J. A., Pérez-Martín R. I., Sotelo C. G. Hydrolysates of fish skin collagen: An opportunity for valorizing fish industry byproducts // Marine drugs. 2017. V. 15. N. 5. P. 131. <https://doi.org/10.3390/md15050131>.
6. Starostenko B., Nечepurenk K., Horbenko H., Zolotukhina O., Zorya R., Trubchanin A. Technology of fish snacks based on minced fish using a protein supplement for prevention of chronic gastrointestinal diseases // Science

Rise. 2020. N. 3 (68). P. 3–9. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001343>.

7. Fang M. C., Peng S. Y. C., Wen-Chieh S., Tai-Yuan C. Physicochemical and Volatile Flavor Properties of Fish Skin under Conventional Frying, Air Frying and Vacuum Frying // *Molecules*. 2023. V. 28. N. 11. P. 4376. <https://doi.org/10.3390/molecules28114376>.

8. Murillo S., Ardoin R., Prinyawiwatkul W. Consumers' Acceptance, Emotions, and Responsiveness to Informational Cues for Air-Fried Catfish (*Ictalurus punctatus*) Skin Chips // *Foods*. 2023. V. 12. N. 7. P. 1536. <https://doi.org/10.3390/foods12071536>.

9. Ключко Н. Ю., Позднякова Д. А., Ромазяева И. Р., Ковалева Е. Д. Использование рыбного белка в технологии инновационных хлебобучочных и мучных кондитерских изделий // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство*. 2022. № 3. С. 98–105. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-3-98-105>.

10. Utilization of fish skin as raw material for food products, food. URL: <https://www.globalscientificjournal.com/researchpaper/> (дата обращения: 09.03.2024).

11. Воробьев В. И. Использование рыбьей кожи с чешуей в пищевых целях // *Изв. КГТУ*. 2020. № 58. С. 75–83.

12. Антипова Л. В., Дворянинова О. П., Воронцова Ю. Н. Сухая основа из малоценных продуктов разделки прудовых рыб для приготовления первых блюд // *Изв. вузов. Сер.: Пищевая технология*. 2012. № 2-3. С. 76–79.

13. Исаев В. А. Кормовая рыбная мука. М.: Агропромиздат, 1985. 189 с.

14. Afreen S. M. M. S., Begum S. R., Himaya S. M. M. S., Imthiyas M. S. M. Fish Waste as a Potential Feed Ingredient for Fish Meal Production // *Fish Waste to Valuable Products*. Singapore: Springer Nature Singapore. 2024. P. 317–327. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8593-7_14.

15. Tang C., Zhou K., Zhu Y., Zang W., Xie Y., Wang Z., Zhou H., Yang T., Zhang Q., Xu B. Collagen and its derivatives: From structure and properties to their applications in food industry // *Food Hydrocolloids*. 2022. V. 131. P. 107748. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107748>.

16. Salvatore L., Gallo N., Natali M. L., Campa L., Lunetti P., Madaghiele M., Blasi S. F., Corallo A., Capobianco L., Sannino A. Marine collagen and its derivatives: Versatile and sustainable bioresources for healthcare // *Materials Science and Engineering: C*. 2020. V. 113. P. 110963. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110963>.

17. Rajabimashhadi Z., Gallo N., Salvatore L., Lionetto F. Collagen derived from fish industry waste: progresses and challenges // *Polymers*. 2023. V. 15. N. 3. P. 544. <https://doi.org/10.3390/polym15030544>.

18. Coppola D., Oliviero M., Vitale G. A., Lauritano C., D'Ambrà I., Iannace S., de Pascale D. Marine collagen from alternative and sustainable sources: Extraction, processing and applications // *Marine drugs*. 2020. V. 18. N. 4. P. 214. <https://doi.org/10.3390/md18040214>.

19. Пат. РФ 2734034. Способ получения пищевых коллагенсодержащих продуктов / Воробьев В. И.; заявл. 28.10.2019; опубл. 12.10.2020. Бюл. № 29.

20. Пат. РФ 2764996. Способ получения пищевых коллагенсодержащих продуктов / Воробьев В. И.; заявл. 01.02.21; опубл. 24.01.22. Бюл. № 3.

21. Гидрат и гидролизированный коллаген – в чем разница. URL: <https://journal.vertera.org/kollagen-gidrolizovannyy/> (дата обращения: 31.02.2024).

22. Momot K. I. Hydrated collagen: Where physical chemistry, medical imaging, and bioengineering meet // *The Journal of Physical Chemistry B*. 2022. V. 126. N. 49. P. 10305–10316. <https://eprints.qut.edu.au/240447/>.

23. Антипова Л. В., Сухов И. В., Котов И. И. Влияние условий обработки шкур толстолобика на структуру коллагена // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та инженер. технологий*. 2019. Т. 81. № 4 (82). С. 53–57. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-4-53-57>.

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

25. Химический состав российских пищевых продуктов: справ. / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. М.: ДеЛи принт, 2002. 235 с.

References

1. Stepancova G. E., Vorob'ev V. I. Biologicheskaya cennost' kollagensoderzhashchego syr'ya gidrobiontov [Biological value of collagen-containing raw materials of hydrobionts]. *Innovacii v nauke i obrazovanii – 2007: trudy V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Kaliningrad, 23–25 oktyabrya 2007 g.)*. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2007. Part 1. Pp. 310-312.

2. Kupina N. M., Povalyaeva N. T., Gerasimova N. A. Harakteristika belkov shkury kety [Characteristics of chum salmon skin proteins]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya*, 1994, no. 3-4, pp. 10-11.

3. Jafari H., Lista A., Siekapen M. M., Ghaffari-Bohlouli P., Lei Nie, Alimoradi H., Shavandi A. Fish collagen: Extraction, characterization, and applications for biomaterials engineering. *Polymers*, 2020, vol. 12, no. 10, p. 2230. <https://doi.org/10.3390/polym12102230>.

4. Oslan S. N. H., Li C. X., Shapawi R., Mokhtar R. A. M., Noordin W. N. M., Huda N. Extraction and characterization of bioactive fish by-product collagen as promising for potential wound healing agent in pharmaceutical applications: Current trend and future perspective. *International Journal of Food Science*, 2022, vol. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9437878>.

5. Blanco M., Vázquez J. A., Pérez-Martín R. I., Sotelo C. G. Hydrolysates of fish skin collagen: An opportunity for val-orizing fish industry byproducts. *Marine drugs*, 2017, vol. 15, no. 5, p. 131. <https://doi.org/10.3390/md15050131>.

6. Starostenko B., Nechepurenk K., Horbenko H., Zolotukhina O., Zorya R., Trubchanin A. Technology of fish snacks based on minced fish using a protein supplement for prevention of chronic gastrointestinal diseases. *Science Rise*, 2020, no. 3 (68), pp. 3-9. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001343>.

7. Fang M. C., Peng S. Y. C., Wen-Chieh S., Tai-Yuan C. Physicochemical and Volatile Flavor Properties of Fish Skin under Conventional Frying, Air Frying and Vacuum Frying. *Molecules*, 2023, vol. 28, no. 11, p. 4376. <https://doi.org/10.3390/molecules28114376>.

8. Murillo S., Ardoin R., Prinyawiwatkul W. Consumers' Acceptance, Emotions, and Responsiveness to Informational Cues for Air-Fried Catfish (*Ictalurus punctatus*) Skin Chips. *Foods*, 2023, vol. 12, no. 7, p. 1536. <https://doi.org/10.3390/foods12071536>.

9. Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A., Romazyayeva I. R., Kovaleva E. D. Ispol'zovanie rybnogo belka v tekhnologii in-

novatsionnykh khlebobulochnykh i muchnykh konditerskikh izdeliy [Using fish protein in innovative technologies of bakery and flour confectionery products]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2022, no. 3, pp. 98-105. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-3-98-105>. EDN CIW PSY.

10. Utilization of fish skin as raw material for food products, food. Available at: <https://www.globalscientificjournal.com/researchpaper/> (accessed: 09.03.2024).

11. Vorob'ev V. I. Ispol'zovanie ryb'ej kozhi s cheshuej v pishchevyh celyah [The use of fish skin with scales for food purposes]. *Izvestiya KGTU*, 2020, no. 58, pp. 75-83.

12. Antipova L. V., Dvoryaninova O. P., Voroncova Yu. N. Suhaya osnova iz malocennykh produktov razdelki prudovykh ryb dlya prigotovleniya pervykh blyud [Dry base from low-value products of pond fish cutting for the preparation of first courses]. *Izvestiya vuzov, Seriya: Pishchevaya tekhnologiya*, 2012, no. 2-3, pp. 76-79.

13. Isaev V. A. *Kormovaya rybnaya muka* [Feed fish meal]. Moscow, Agropromizdat, 1985. 189 p.

14. Afreen S. M. M. S., Begum S. R., Himaya S. M. M. S., Imthiyas M. S. M. Fish Waste as a Potential Feed Ingredient for Fish Meal Production. *Fish Waste to Valuable Products*. Singapore, Springer Nature Singapore, 2024, pp. 317-327. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8593-7_14.

15. Tang C., Zhou K., Zhu Y., Zang W., Xie Y., Wang Z., Zhou H., Yang T., Zhang Q., Xu B. Collagen and its derivatives: From structure and properties to their applications in food industry. *Food Hydrocolloids*, 2022, vol. 131, p. 107748. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107748>.

16. Salvatore L., Gallo N., Natali M. L., Campa L., Lunetti P., Madaghiele M., Blasi S. F., Corallo A., Capobianco L., Sannino A. Marine collagen and its derivatives: Versatile and sustainable bioresources for healthcare. *Materials Science and Engineering: C*, 2020, vol. 113, p. 110963. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110963>.

17. Rajabimashhadi Z., Gallo N., Salvatore L., Lionetto F. Collagen derived from fish industry waste: progresses and

challenges. *Polymers*, 2023, vol. 15, no. 3, p. 544. <https://doi.org/10.3390/polym15030544>.

18. Coppola D., Oliviero M., Vitale G. A., Lauritano C., D'Ambra I., Iannace S., de Pascale D. Marine collagen from alternative and sustainable sources: Extraction, processing and applications. *Marine drugs*, 2020, vol. 18, no. 4, p. 214. <https://doi.org/10.3390/md18040214>.

19. Vorob'ev V. I. *Sposob polucheniya pishchevyh kollagensoderzhashchih produktov* [The method of obtaining food collagen-containing products]. Patent RF 2734034; 12.10.2020.

20. Vorob'ev V. I. *Sposob polucheniya pishchevyh kollagensoderzhashchih produktov* [The method of obtaining food collagen-containing products]. Patent RF 2764996; 24.01.22.

21. *Gidrat i gidrolizovannyj kollagen – v chem raznica* [Hydrate and hydrolyzed collagen – what is the difference]. Available at: <https://journal.vertera.org/kollagen-gidrolizo-vannyi/> (accessed: 31.02.2024).

22. Momot K. I. Hydrated collagen: Where physical chemistry, medical imaging, and bioengineering meet. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2022, vol. 126, no. 49, pp. 10305-10316. <https://eprints.qut.edu.au/240447/>.

23. Antipova L. V., Suhov I. V., Kotov I. I. Vliyanie usloviy obrabotki shkur tolstolobika na strukturu kollagena [The effect of the processing conditions of silver carp skins on the collagen structure]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologij*, 2019, vol. 81, no. 4 (82), pp. 53-57. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-4-53-57>.

24. Vorob'ev V. I., Bulychev A. G., Nizhnikova E. V. Harakteristiki pishchevogo kollagensoderzhashchego gidrata iz kozhi sudaka po dannym IK-Fur'e-spektroskopii [Characteristics of edible collagen-containing hydrate from walleye skin according to IR Fourier spectroscopy]. *Izvestiya KGTU*, 2023, no. 70, pp. 73-87. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-70-73-87.

25. *Himicheskij sostav rossijskikh pishchevykh produktov: spravochnik* [Chemical composition of Russian food products: a reference guide]. Pod redakciej I. M. Skurikhina, V. A. Tutel'jana. Moscow, DeLi print, 2002. 235 p.

Статья поступила в редакцию 28.03.2024; одобрена после рецензирования 10.09.2024; принята к публикации 19.11.2024
The article was submitted 28.03.2024; approved after reviewing 10.09.2024; accepted for publication 19.11.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Виктор Иванович Воробьев – кандидат технических наук; доцент кафедры химии; Калининградский государственный технический университет; viktor.vorobev@klgtu.ru

Ольга Павловна Чернега – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры технологии продуктов питания; Калининградский государственный технический университет; olga.chernega@klgtu.ru

Кристина Евгеньевна Ленц – студент, направление обучения «Технология производства и организации общественного питания»; Калининградский государственный технический университет; lents30@mail.ru.

Viktor I. Vorob'ev – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Chemistry; Kaliningrad State Technical University; viktor.vorobev@klgtu.ru

Olga P. Chernega – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Food Technology; Kaliningrad State Technical University; olga.chernega@klgtu.ru

Kristina E. Lenz – Student, direction of study “Technology of production and organization of public catering”; Kaliningrad State Technical University; lents30@mail.ru

