

Научная статья

УДК 664.959.5

DOI: 10.17586/2310-1164-2023-16-2-50-60

Методика сохранения биологически активных веществ при обработке многокомпонентного побочного рыбного сырья

М.И. Кременевская^{1*}, В.С. Варик¹, О.А. Соснина¹, Р.Е. Кудинов²¹Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, *Marianna.Kremenevskaya@mail.ru²ООО «Функциональные ингредиенты», Россия, Санкт-Петербург

Аннотация. Определяли условия химического гидролиза побочного рыбного сырья (кожи) сельди атлантической для получения пищевой добавки с максимальным выходом биологически активных веществ. Объектами исследования являлись гидролизаты с концентрацией химического реагента 0,2% (образец 1), 0,3% (образец 2), 0,4% (образец 3), в которых методом высокоэффективной жидкостной хроматографии определяли содержание незаменимых аминокислот (метионин, лизин и треонин) и жирорастворимых витаминов (А, D₃, Е). Предварительную обработку кожи сельди с чешуей обрабатывали щелочным реагентом, концентрацией 0,05% и жидкостным коэффициентом (ЖК = 4) в течение 60 мин при температуре 55 ± 0,5°C, после чего образцы гидролизовали при указанных выше концентрациях в течение 120 мин при температуре 90 ± 0,5°C. Принципиальным в исследовании был отбор двух параллельных проб, исключая влияние человеческого фактора, которые математически обрабатывались в два вычисления (две хроматограммы), а среднее арифметическое значение показателя выводилось по результатам двух измерений с помощью программного обеспечения LabSolution. Установлено, что после предварительной обработки в течение 60 мин наилучшей для гидролиза побочного морского рыбного сырья (кожи) сельди атлантической при температуре 90 ± 0,5°C является концентрация 0,3% щелочного реагента. Проведение гидролиза в присутствии такой концентрации позволило получить максимальные выход аминокислот (2,76; 2,00 и 1,15%) и жирорастворимых витаминов (0,16; 0,0039 и 0,29).

Ключевые слова: глубокая переработка; рыбное сырье; гидролизаты; аминокислоты; жирорастворимые витамины

Original article

Specifics of preservation of biologically active substances in the processing of multicomponent fish by-products

Marianna I. Kremenevskaya^{1*}, Veronika S. Varik¹, Olga A. Sosnina¹, Roman E. Kudinov²

ITMO University, St. Petersburg, Russia, *Marianna.Kremenevskaya@mail.ru

²LLC "Funktsionalnye Smesi", St. Petersburg, Russia

Abstract. The conditions of chemical hydrolysis of by-product fish raw materials (skin) of Atlantic herring were determined to obtain a food additive with a maximum yield of biologically active substances. The objects of the study were hydrolysates with a chemical reagent concentration of 0.2% (sample 1), 0.3% (sample 2), 0.4% (sample 3), in which the content of essential amino acids (methionine, lysine and threonine) and fat-soluble vitamins (A, D₃, E) were determined by high-performance liquid chromatography. Pretreatment of herring skin with scales was treated with an alkaline reagent with a concentration of 0.05% and a liquid coefficient (LC = 4) for 60 minutes at a temperature of 55 ± 0.5°C, after which the samples were hydrolyzed at the above concentrations for 120 minutes at a temperature of 90 ± 0.5°C. The principal thing in the study was the selection of two parallel samples, excluding the influence of the human factor, which were mathematically processed into two calculations (two chromatograms), and the arithmetic mean of the indicator was derived from the results of two measurements using the LabSolution software. It was found that after pretreatment for 60 minutes, the concentration of 0.3% alkaline reagent is the best for hydrolysis of marine fish by-products (skin) of Atlantic herring at a temperature of 90 ± 0.5°C. Hydrolysis in the presence of such a concentration allowed to obtain the maximum yield of amino acids (2.76; 2.00 and 1.15%) and fat-soluble vitamins (0.16; 0.0039 and 0.29).

Keywords: deep processing; fish raw materials; hydrolysates; amino acids; vitamins

Введение

Коллаген является доминирующим белком в многокомпонентной соединительной ткани и есть в составе всех видов многоклеточных структур животного происхождения [1], где выполняет различные функции в зависимости от его нахождения в организме [2]. Извлечение белка из животной ткани проводят

как правило из побочных продуктов, образующихся в технологиях основных производств. Это могут быть продукты первичной переработки скота и птицы, побочные продукты основных пищевых (полуфабрикатов из мяса, птицы, рыбы и пресервов) или кожевенных производств. Основными источниками коллагена являются соединительная ткань кожных покровов, сухожилий, хрящей, костей и наружных покровов (костных пластин – чешуи) [3]. Проведены широкие исследования в области обработки побочного сырья различными способами из источников животного происхождения таких, как рыба [4] и птица [5]. Данные исследования могут быть рассмотрены как альтернативные религиозным ограничениям по отношению к коллагену, полученному из свиней, и при риске развития губчатой энцефалопатии крупного рогатого скота [6], которое связано с накоплением патологического прионного белка (PrPSc) в головном мозге и центральной нервной системе взрослого крупного рогатого скота [7].

Увеличивается интерес к способам извлечения коллагена [8] и его производных в связи с растущей тенденцией использования этого белка [9] вместо или совместно с синтетическими агентами в различных технологических процессах. Такой подход позволяет более эффективно оценивать роль побочных продуктов животного происхождения в различных производственных отраслях.

Коллаген считается одним из наиболее полезных биоматериалов, поскольку имеет широкий спектр промышленного применения [10]. В пищевой промышленности существует большой спрос на коллаген и желатин из-за высокого содержания белка и таких функциональных свойств, как водопоглощающая способность [11], гелеобразование и способность образовывать и стабилизировать эмульсии. В биомедицинской и фармацевтической области коллаген имеет несколько применений: используется в качестве носителя для лекарств, белков и генов, а также в качестве заменителя человеческой кожи, кровеносных сосудов и связок [12]. В ряде исследований коллаген изучался на предмет получения биоактивных соединений с антимикробными [13], антиоксидантными и антигипертензивными свойствами [14].

Извлечение коллагена на пищевые нужды из пресноводного и морского рыбного сырья проводилось с использованием таких побочных продуктов, как кожа тихоокеанского *Lateolabrax japonicus* (судзукки, японского сибаса, морского окуня или судака) [15], кожа и костная ткань тихоокеанской *Scomberomorus niphonius* (мелкопятнистой или японской королевской макрели) [16], хрящевая ткань пресноводного *Acipenser schrenckii* (японского или амурского осетра, или осетра Шренка, названного в честь русского зоолога Леопольда фон Шренка [17], а также плавники, чешуя, кожа, кости и плавательные пузыри пресноводного *Hypophthalmichthys nobilis* (пестрого или южного толстолобика). Несмотря на то, что извлечение морского коллагена из коллагеносодержащей ткани просто и безопасно, существуют некоторые ограничения в его применении из-за низкой температуры денатурации [18], структуры, особенностей изменения компонентного состава ткани и биологически активных веществ при различных режимах обработки.

Извлечение низко- или высокомолекулярного коллагена, получение гидролизатов определенной молярной массы связано с применением ферментативного, химического, водно-термического методов гидролиза. Процессы предварительной обработки коллагеносодержащего сырья могут дополнительно сопровождаться физическими или поэтапными биохимическими, микробиологическими или химическими методами воздействия. Молярная масса готового продукта является основным фактором, определяющим функциональные свойства коллагена или коллагеносодержащего продукта. В зависимости от требуемых характеристик задаются условия процесса гидролиза, которые включают специфичность фермента, используемого в процессе экстракции [19], концентрацию реагентов, катализаторов, температуру и продолжительность процесса при частичном и полном гидролизе. Необходимо определить соответствующий процесс экстракции или растворения для каждого вида коллагеносодержащего сырья, чтобы получить наилучшую производительность, свойства и характеристики продуктов для их последующего применения.

Неиспользуемые на пищевые нужды побочные продукты применяются в производстве кормов, удобрений, биостимуляторов или стимуляторов (регуляторов) роста и развития растений, топлива. Однако существующие тенденции развивающегося сектора рынка биологически активных веществ, жирных кислот, витаминов, имеющих в гидролизатах белка, направлены на получение продукции с добавленной стоимостью, что способствует развитию новых методик и технологий рециклинга побочного

сырья в производственный процесс. Растет и понимание того, что побочные продукты могут представлять ценные ресурсы, если они используются должным образом.

По данным Федерального агентства по рыболовству, общий объем вылова водных биоресурсов в России по состоянию на май 2023 года составил 2024,1 тыс. тонн, что на 104,9 тыс. тонн или на 5,5% больше уровня аналогичного периода 2022 года. Только в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне на промысле сельди вылов составил 233,8 тыс. тонн, что на 14,6 тыс. тонн больше уровня 2022 года. При этом необходимо отметить, что процент неиспользованных побочных продуктов сельди достигает 50%.

Таким образом, переработка побочных продуктов способствует трансформации продукта с низкой себестоимостью в дорогостоящую продукцию, получение которой способно перекрыть затраты на ее переработку и охрану окружающей среды. Однако, получение искомым компонентов или комплекса компонентов в максимальном количестве, в первую очередь биологически активных веществ, необходимых в ежедневном потреблении, зависит от параметров условий обработки побочного сырья.

Восполнение незаменимых аминокислот (АК) важно для всех групп населения, поскольку их концентрация, в том числе, предотвращает функциональную неподвижность суставов и потерю мышечной массы после операций на соединительную ткань. Например, добавление к рациону таких АК, как лизин, метионин и треонин, способствует повышению резорбции костной ткани и снижению остеокластической активности, разрушающей костную и хрящевую ткань. Микронутриенты также способствуют укреплению костной, иммунной систем, способствуют заживлению ран и превращениям энергетических процессов организма. Их сохранение во время обработки сырья (гидролитической, термической и пр.) чрезвычайно важно. Однако, избыток потребления накапливающихся в организме жирорастворимых витаминов А, D₃, Е, может представлять бóльший риск токсичности, чем потребление водорастворимых витаминов, поэтому их количество должно быть достаточным, но не избыточным.

Цель исследования – определить условия химического гидролиза побочного рыбного сырья (кожи) сельди атлантической для получения пищевой добавки с максимальным выходом биологически активных веществ (БАВ).

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись гидролизаты, полученные авторами из побочного морского рыбного сырья (кожа) сельди атлантической в растворах щелочного реагента (KOH), концентрацией от 0,1 до 0,5%. Гидролизаты, обработанные концентрациями реагента 0,1 и 0,5% в дальнейших исследованиях не использовали, поскольку в первом случае для гидролиза потребовалось более длительное время, что связано с энергетическими затратами на проведение процесса, а во втором – наблюдается перерасход реагента. В оставшихся гидролизатах определяли содержание незаменимых аминокислот (метионин, лизин и треонин) и жирорастворимых витаминов (А, D₃, Е). В экспериментах использовали гидролизаты с концентрацией химического реагента 0,2% (образец 1), 0,3% (образец 2), 0,4% (образец 3).

Предварительную обработку кожи сельди с чешуей проводили щелочным реагентом, концентрацией 0,05% и жидкостным коэффициентом (ЖК = 4) в течение 60 мин при температуре $55 \pm 0,5^\circ\text{C}$, после чего образцы гидролизовали при указанных выше концентрациях в течение 120 мин при температуре $90 \pm 0,5^\circ\text{C}$. По окончании гидролиза определяли выход готового продукта, содержание лизина, метионина и треонина, витаминов А, D₃, Е и в образце, с наибольшим выходом БАВ – структуру гидролизата с помощью микроскопа O Carl Zeiss (Германия).

Методом исследования белоксодержащих гидролизатов морского рыбного белка являлась высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). Для обеспечения анализа многокомпонентной смеси использовался высокоэффективный жидкостной хроматограф Shimadzu (Япония) с высокой чувствительностью.

Для определения массовой концентрации аминокислот – метионина, лизина и треонина – использовали хроматографический анализ средней пробы в двух параллелях для исключения ошибки, вызванной человеческим фактором. Концентрация вещества равна площади пика.

Массовую концентрацию аминокислоты в анализируемой пробе C_m рассчитывали в программном обеспечении хроматографа LabSolution, которая автоматически отображается на хроматограмме.

Схема процедуры аминокислотного состава объектов исследования представлена на рисунке 1. Пробоподготовку для определения жирорастворимых витаминов А, D₃, Е проводили по следующим этапам:

- щелочной гидролиз пробы продукта;
- извлечение из пробы витаминов;
- очистка гидролизата и концентрирование витаминов из пробы методом экстракции;
- подготовка пробы для ввода в хроматографе.

Один из главных этапов в этом методе – отбор двух параллельных проб, которые обрабатываются математически двумя вычислениями (выводятся две хроматограммы), где C_{conc} автоматически рассчитывается системой сбора. Среднее арифметическое значение показателя выводится по результатам двух измерений (хроматограммы).

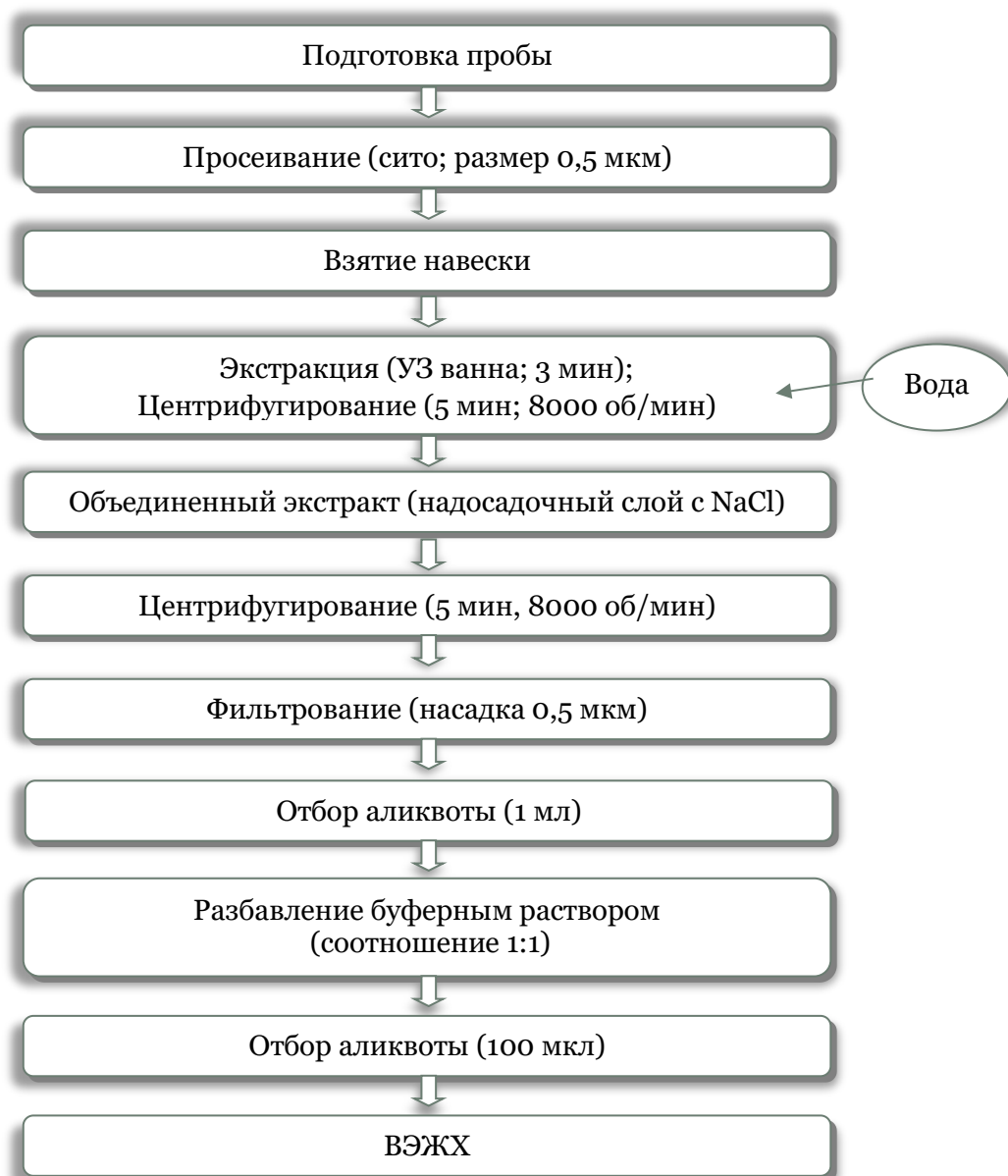


Рисунок 1 – Схема пробоподготовки для определения аминокислотного состава рыбных гидролизатов
Figure 1. Samples preparation to determine amino acid composition of fish hydrolysates

Схема процедуры пробоподготовки для определения состава жирорастворимых витаминов представлена на рисунке 2.

Хроматограф Shimadzu регистрирует количественный состав исследуемого вещества на ПК, далее программное обеспечение позволяет проводить регистрацию пиков по времени.

Расчет массовой концентрации витаминов в анализируемой пробе проводили аналогично расчету аминокислот.

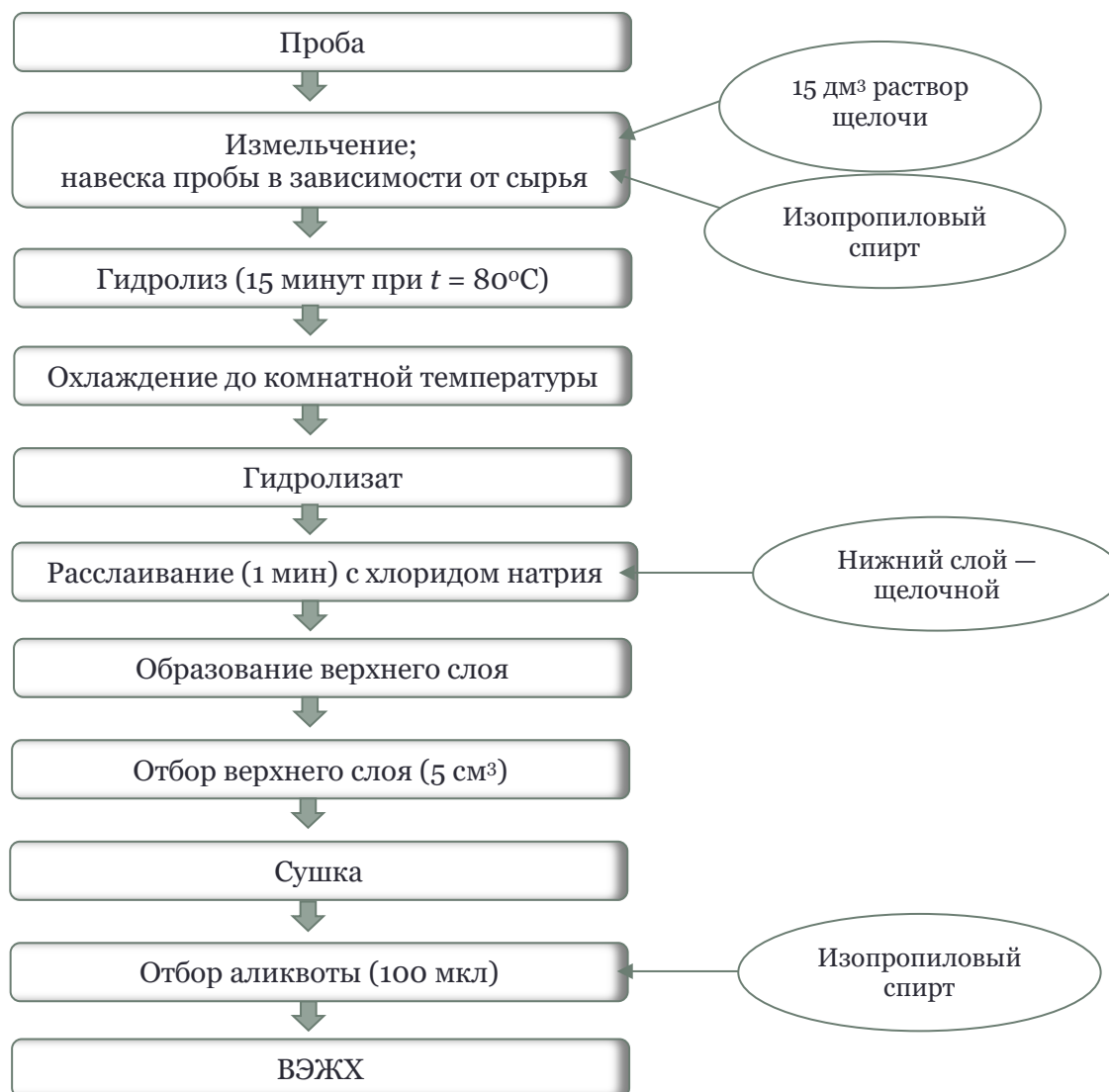


Рисунок 2 – Схема пробоподготовки для определения состава витаминов A, D₃, E рыбных гидролизатов
 Figure 2. Samples preparation to determine the composition of fat-soluble vitamins A, D₃, and E in fish hydrolysates

Массовые доли аминокислот и витаминов (%) в гидролизатах рассчитывали по формуле

$$W = \frac{m_{\text{ср}} \cdot C_m}{K} \cdot 100,$$

где $m_{\text{ср}}$ – средняя масса двух навесок;

C_m – полученная концентрация аминокислот/витаминов;

$K = 700$, поправочный коэффициент компоненты.

Результаты и их обсуждение

По окончании 120 мин гидролиза уменьшение массы рыбного сырья в образце 1 составило 90,8%, образце 2 – 96,6% и образце 3 – 96,8%.

Предположили, что концентрация реагента влияет в значительной степени на массовую долю аминокислот и жирорастворимых витаминов, поэтому важным представлялось получить белоксодержащие рыбные гидролизаты, полученные при минимальной концентрации реагента с наибольшим содержанием эссенциальных веществ.

Выход пика для каждой аминокислоты регламентируется по времени, так как перед исследованием в хроматограф обязательно загружается эталонный образец для идентификации соединений.

Программное обеспечение строит график, состоящий из двух осей (X и Y), где существуют пределы для времени и концентрации соответственно. Потом происходит сравнение двух хроматограмм (сравнение временных площадей пиков путем наложения их друг на друга). Если время выхода эталонной аминокислоты не совпадает с временем выхода аминокислот в исследуемом образце, значит исследуемая аминокислота отсутствует или продукт фальсифицирован. Концентрация веществ равна площади пика.

На рисунке 3 представлены результаты исследования образца 1. Из анализа хроматограммы видно, что максимальный выход аминокислот наблюдается через 5; 7,5 и 10 мин; концентрации отражены пиками на диаграмме и составляют для лизина 1,885, треонина – 1,260 и метионина – 0,497. Массовая доля аминокислот составила для лизина 0,96, треонина 0,65 и метионина 0,25%.

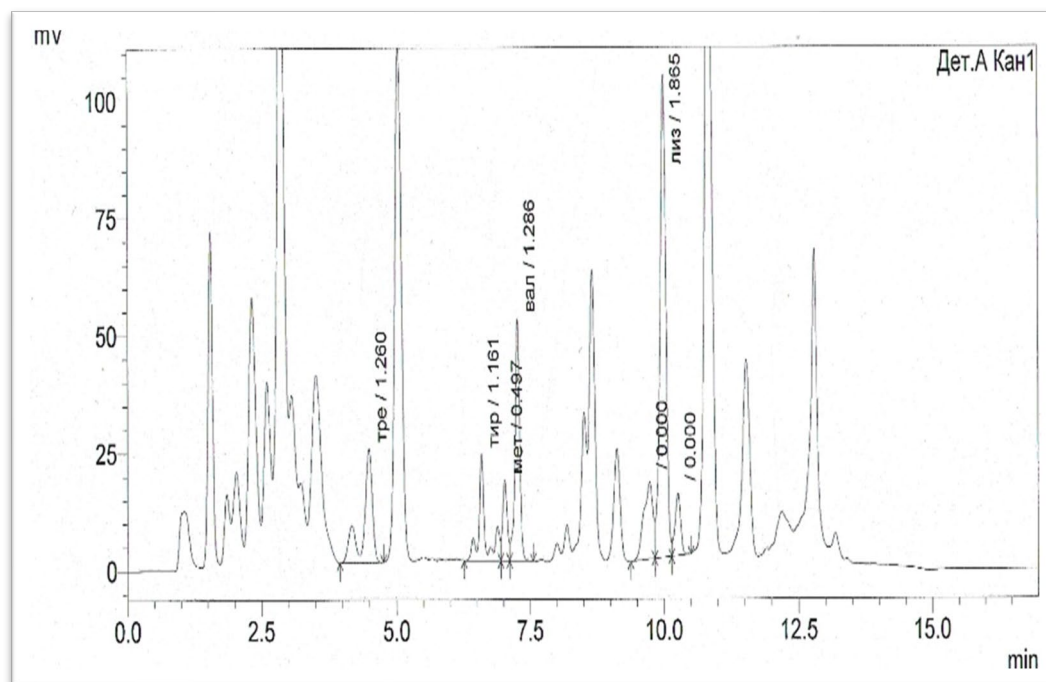


Рисунок 3 – Хроматограмма исследования аминокислотного состава образца 1

Figure 3. Samples preparation to determine the composition of fat-soluble vitamins A, D₃, and E in fish hydrolysates

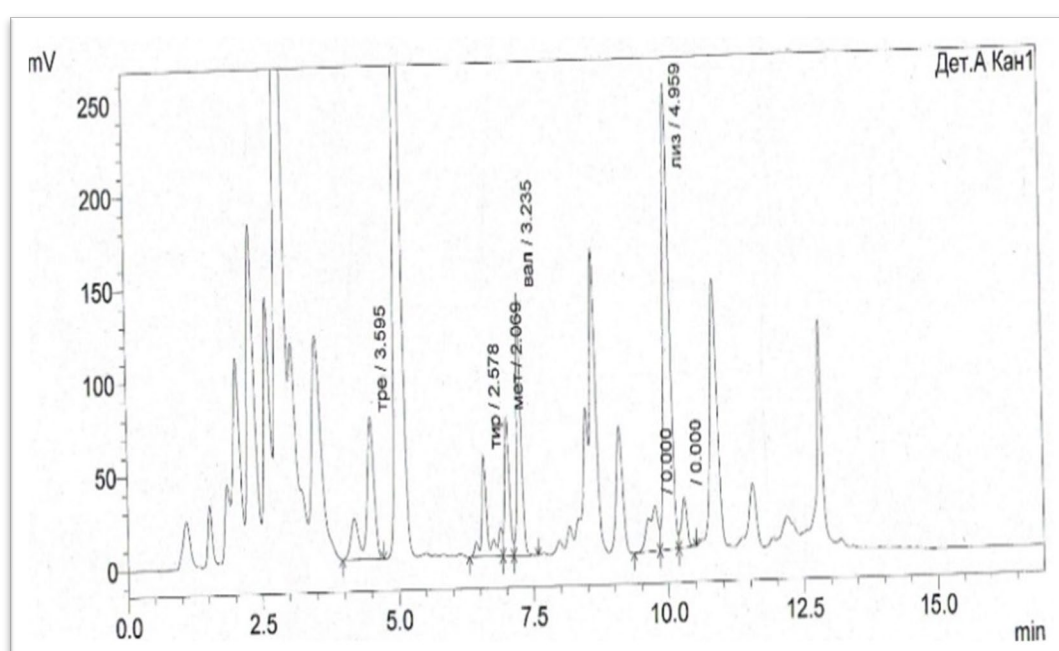


Рисунок 4 – Хроматограмма исследования аминокислотного состава образца 2

Figure 4. Chromatogram for the analysis of amino acid composition of sample 2

На рисунке 4 представлены результаты исследования образца 2, концентрации лизина в котором равна 4,959, треонина – 3,595, метионина – 2,069. Массовая доля аминокислот составила для лизина 2,76, треонина – 2,00 и метионина – 1,15%.

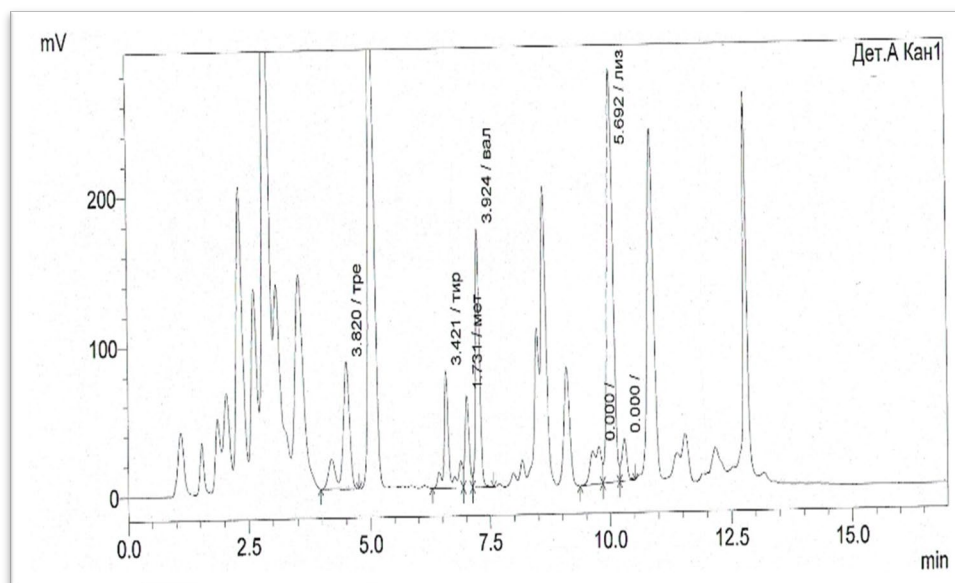


Рисунок 5 – Хроматограмма исследования аминокислотного состава образца 3
Figure 5. Chromatogram for the analysis of amino acid composition of sample 3

На рисунке 5 представлены результаты исследования образца 3. Концентрации лизина равна 5,692, треонина – 3,820, метионина – 1,731. Массовая доля аминокислот составила для лизина 2,13, треонина – 3,17 и метионина – 0,964%.

Анализ содержания аминокислот показывает, что их выход в образце 2 выше, чем в образце 1: лизина, треонина – в 3 раза, метионина – в 4,6 раза. Массовая доля треонина в образце 3 в сравнении с образцом 2 выше на 58%, лизина и метионина – ниже на 23 и 16% соответственно, то есть гидролизат, полученный при концентрации реагента 0,4%, не может рассматриваться как наилучший, несмотря на больший выход треонина, из-за снижения содержания лизина и метионина. Таким образом, концентрация реагента, равная 0,3% (образец 2) позволяет получить гидролизат из рыбного сырья с наибольшим выходом аминокислот.

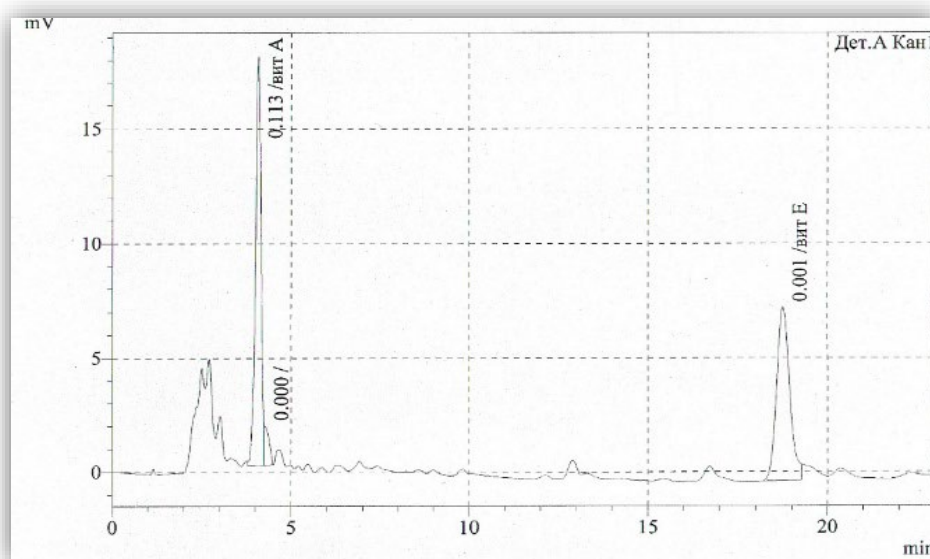


Рисунок 6 – Хроматограмма исследования на жирорастворимые витамины (А и Е) образца 1
Figure 6. Chromatogram for the analysis of fat-soluble vitamins (A and E) in sample 1

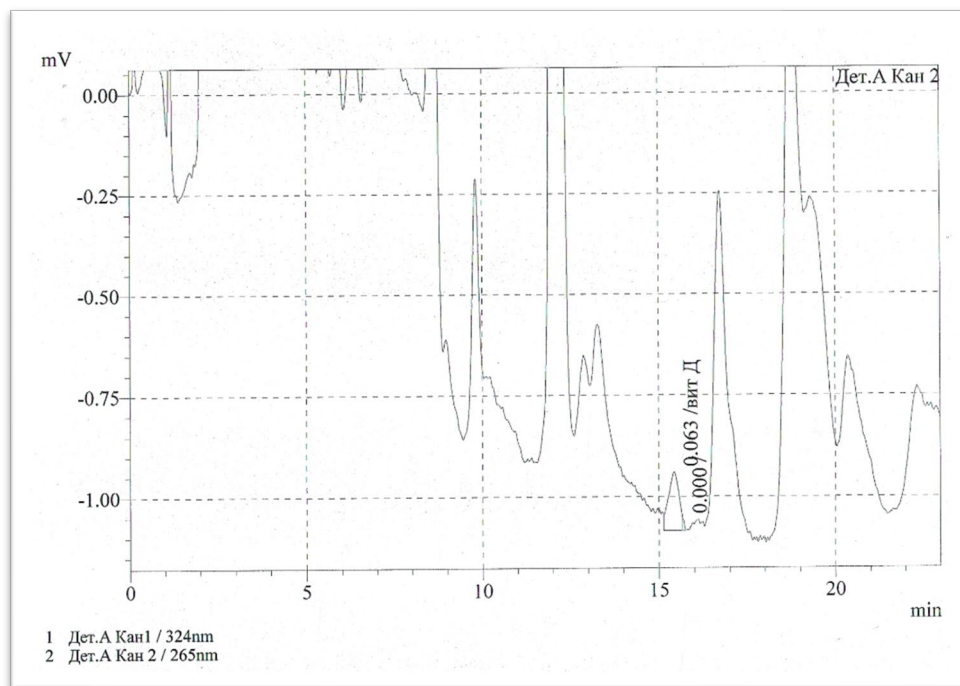


Рисунок 7 – Хроматограмма исследования на жирорастворимый витамин (D_3) образца 1
 Figure 7. Chromatogram for the analysis of fat-soluble vitamin (D_3) in sample 1

Исследование выхода пика для каждого жирорастворимого витамина (ретинола, токоферола и холекальцефирила) проводили аналогично выходу пиков аминокислот. На рисунках 6 и 7 представлены результаты исследования образца 1, концентрации жирорастворимых витаминов: А – 0,113; D_3 – 0,063; Е – 0,001. Массовая доля жирорастворимых витаминов составила: витамин А – 0,063; D_3 – 0,035; Е – $5,6 \cdot 10^{-4}\%$.

На рисунке 8 и 9 представлены результаты исследования образца 2, где концентрации жирорастворимых витаминов: А – 0,287; D_3 – 0,522; Е – 0,007. Массовая доля жирорастворимых витаминов составила: витамин А – 0,16; D_3 – 0,29; Е – 0,0039%.

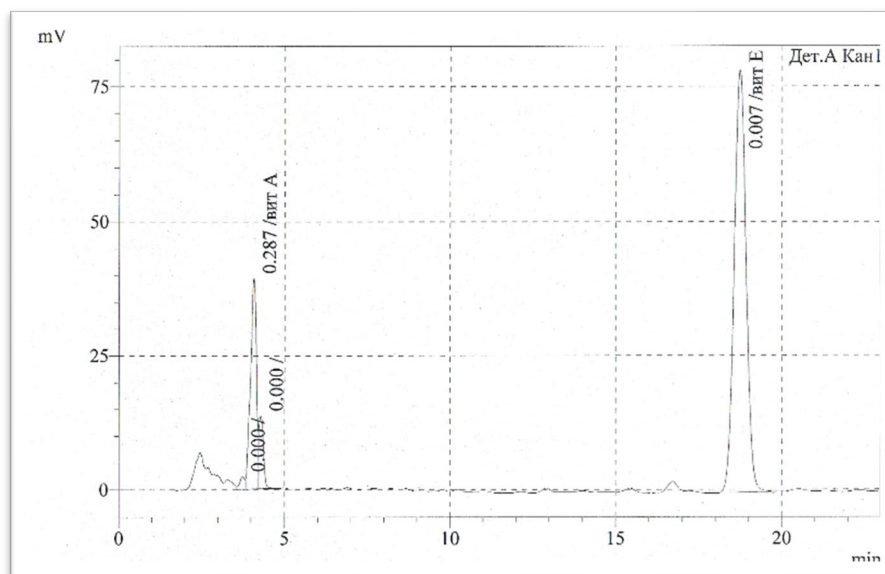


Рисунок 8 – Хроматограмма исследования на жирорастворимые витамины (А и Е) образца 2
 Figure 8. Chromatogram for the analysis of fat-soluble vitamins (A and E) in sample 2

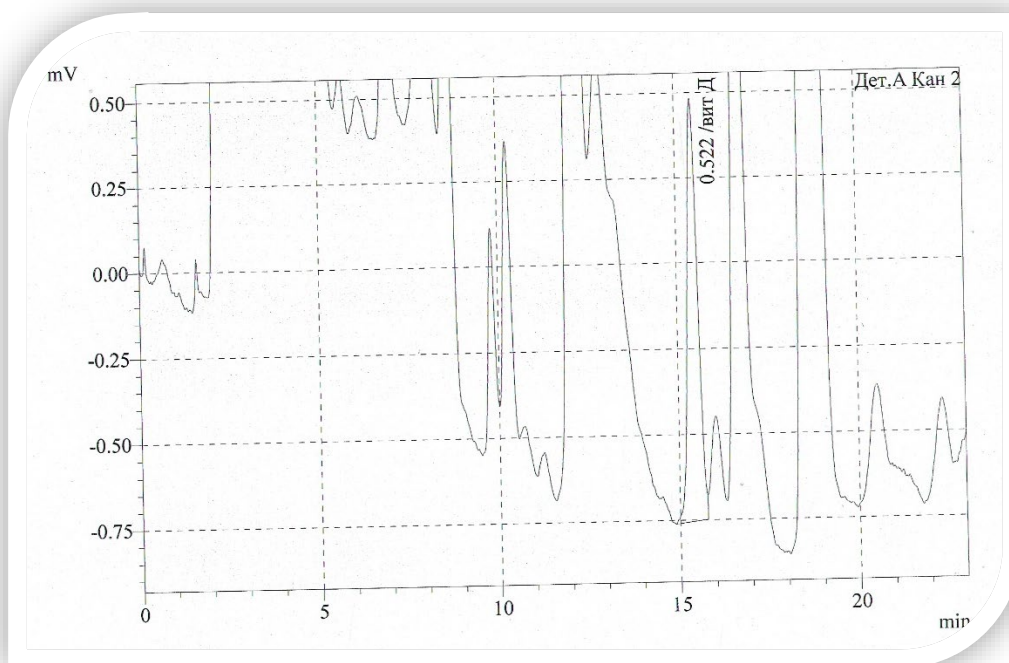


Рисунок 9 – Хроматограмма исследования на жирорастворимый витамин (D_3) образца 2
 Figure 9. Chromatogram for the analysis of fat-soluble vitamin (D_3) in sample 2

На рисунках 10 и 11 представлены результаты исследования образца 3, где концентрации жирорастворимых витаминов составили: А – 0,013; D_3 – 0,104; Е – 0,001.

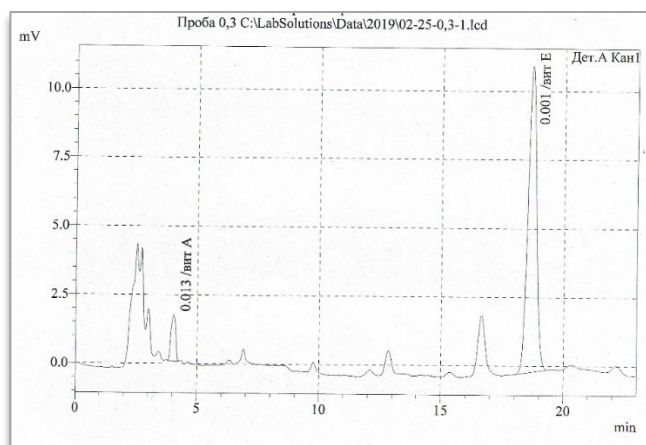


Рисунок 10 – Хроматограмма исследования на жирорастворимые витамины (А и Е) образца 3
 Figure 10. Chromatogram for the analysis of fat-soluble vitamins (A and E) in sample 3

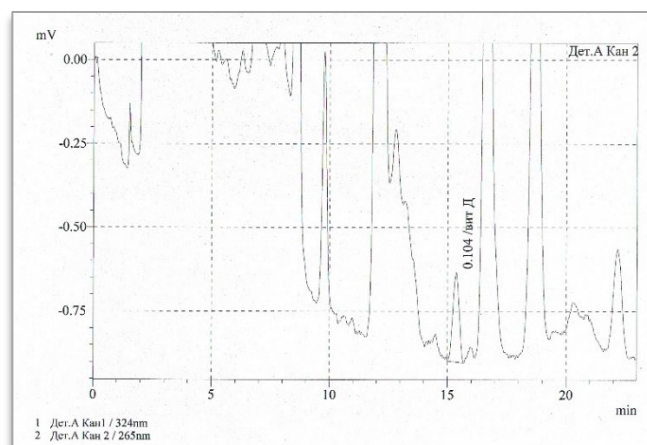


Рисунок 11 – Хроматограмма исследования на жирорастворимый витамин (D_3) образца 3
 Figure 11. Chromatogram for the analysis of fat-soluble vitamin (D_3) in sample 3

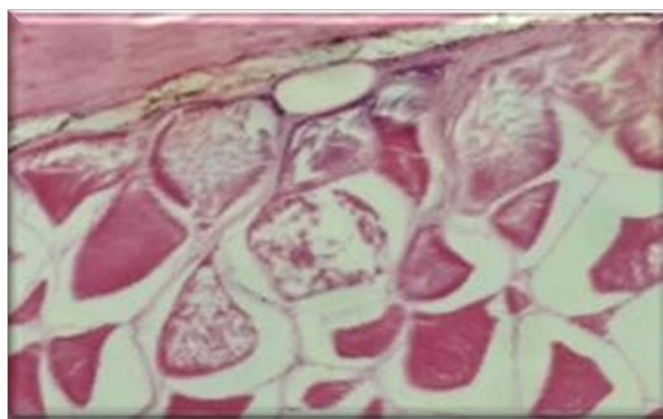
Массовая доля жирорастворимых витаминов составила: витамин А – 0,069; D_3 – 0,055; Е – $5,3 \cdot 10^{-4}\%$.

Анализируя результаты исследований концентраций и массовых долей жирорастворимых витаминов гидролизатов можно сказать, что наблюдается аналогичная с результатами исследований аминокислот тенденция – повышение значений в образце 2 и их снижение в образце 3. По отношению к образцу 1 в образце 2 содержание массовой доли витамина А выше в 2,5 раза, D_3 – 8,3; Е – 69,4 раза. По отношению к образцу 2 в образце 3 наблюдается уменьшение массовой доли витамина А в 2,3 раза, витамина D_3 – 5,2 раза и витамина Е – 73,6 раза.

Микроструктурный анализ рыбного сырья, обработанного щелочным реагентом, концентрацией 0,3% (образец 2) представлен на рисунке 12.



а) образец 2 до обработки



б) образец 2 после щелочной обработки

Рисунок 12 – Изменение микроструктуры кожи рыбного сырья образца 2: а) до гидролиза; б) после гидролиза
 Figure 12. Changes in the microstructure of fish raw-materials (skin) in sample 2: a) before hydrolysis б) after hydrolysis

В гистологических срезах необработанной кожи (рисунок 12а) хорошо просматривается волокнистая структура сырья и целостность клеток поверхности. После щелочного гидролиза (рисунок 12б) с реагентом КОН наблюдается нарушение целостности клеток, набухание, волокнистость просматривается нечетко.

Заключение

Микроструктурный анализ рыбного сырья показал, что щелочной гидролиз в присутствии микроконцентраций химического реагента способствует разрушению обедненных водородных связей вторичной и электростатических третичной структур коллагена кожи сельди атлантической.

Определены массовые доли аминокислот лизина, метионина и треонина и витаминов – ретинола, токоферола и холекальцефира. Установлено, что оптимальная концентрация реагента равна 0,3%, так как меньшее значение не способствует в достаточной мере накоплению в гидролизате аминокислот и витаминов, а большее не дает получение гидролизата с повышенным содержанием БАВ (повышенная концентрация приводит уже к разрушению БАВ, что уменьшает их содержание).

Таким образом, показано, что после предварительной обработки в течение 60 мин наилучшей для гидролиза побочного морского рыбного сырья (кожи) сельди атлантической при температуре $90 \pm 0,5^\circ\text{C}$ является концентрация 0,3% щелочного реагента, при использовании которой получен максимальный выход аминокислот и жирорастворимых витаминов.

Однако, в связи с тем, что во всех образцах гидролизатов имеются БАВ, их можно рекомендовать в качестве добавок к продуктам питания для обогащения микронутриентами и получения продукции заданного состава.

Литература/References

1. Shimokomaki M., Olivo R., Terra N.N., Franco B.D.G.M. *Atualidades em ciência tecnologia de eames*. Livraria Varela, 2006. 236 p.
2. Damodaran S., Parkin K., Fennema O.R. *Química de alimentos de Fennema*. Artmed Editora, 2009. 1166 p.
3. Дворянинова О.П., Соколов А.В. Вторичное сырье рыбной промышленности: ресурсный потенциал, свойства и применение в инновационных технологиях АПК: монография. Воронеж: ВГУИТ, 2020. 272 с.
 Dvoryaninova O.P., Sokolov A.V. *Secondary raw materials of the fishing industry: resource potential, properties and application in innovative technologies of the agro-industrial complex*. Voronezh, Voronezh State University of Engineering Technologies Publ., 2020. 272 p. (In Russian)
4. Антипова Л.В., Котов И.И., Антипов С.С., Хатко З.Н., Дударь М.М., Болоков М.З., Хатхоху М.Г. Коллагеновые субстанции рыбного происхождения в профилактике и лечении заболеваний человека // Актуальная биотехнология, 2020. № 3. С. 274–275.
 Antipova L.V., Kotov I.I., Antipov S.S., Khatko Z.N., Dudar M.M., Bolokov M.Z., Khatkhohu M.G. Collagen substances of fish origin in the prevention and treatment of human diseases. *Aktual'naya biotekhnologiya*. 2020, no. 3, pp. 274–275. (In Russian)

5. Волик В.Г., Исмаилова Д.Ю., Зиновьев С.В., Дерина Д.С. Исследование процесса гидролиза побочного сырья переработки птицы при создании белковых кормовых добавок // Птица и птицепродукты. 2022. № 6. С. 57–60. DOI: 10.30975/2073-4999-2022-24-6-57-60
Volik V.G., Ismailova D.Yu., Zinoviev S.V., Derina D.S. Study of process of poultry processing by product hydrolysis for protein feed additives creation. *Poultry and Chicken Products*. 2022, no. 6, pp. 57–60. DOI: 10.30975/2073-4999-2022-24-6-57-60. (In Russian)
6. Kaewdang O., Benjakul S., Kaewmanee T., Kishimura H. Characteristics of collagens from the swim bladders of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Food Chemistry*. 2014, V. 155, pp. 264–270. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.01.076
7. Wang L., Liang Q., Chen T., Wang Z., Xu G., Ma H. Characterization of collagen from the skin of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*). *Food Hydrocolloids*. 2014, V. 38, pp. 104–109. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.12.002
8. Karim A.A., Bhat R. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food Hydrocolloids*. 2009, V. 23, Is. 1, pp. 563–576. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2008.07.002
9. Smykovskaya R.S., Kuznetsova O.P., Medintseva T.I., Prut E.V., Berlin A.A., Volik V.G. Mechanical and rheological properties of biocomposites based on polyethylene and keratin. *Russ. J. Phys. Chem. B*. 2022, V. 16, pp. 346–352. DOI: 10.1134/S1990793122010298
10. Lafarga T., Hayes M. Bioactive peptides from meat muscle and by products: generation, functionality and application as functional ingredients. *Meat Science*. 2014, V. 98, Is. 2, pp. 227–239. DOI: 10.1016/j.meatsci.2014.05.036
11. Kim S.K., Mendis E. Bioactive compounds from marine processing by products. *Food Research International*. 2006, V. 39, Is. 4, pp. 383–393. DOI: 10.1016/j.foodres.2005.10.010
12. Saiga A., Iwai K., Hayakawa T., Takahata Y., Kitamura S., Nishimura T., Morimatsu F. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides obtained from chicken collagen hydrolysate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008, V. 56, Is. 20, pp. 9586–9591. DOI: 10.1021/jf072669w
13. Bernardini R.D., Mullen A.M., Bolton D., Kerry J., O'neill E., Hayes M. Assessment of the angiotensin-I-converting enzyme (ACE-1) inhibitory and antioxidant activities of hydrolysates of bovine brisket sarcoplasmic proteins produced by papain and characterization of associated bioactive peptide fractions. *Meat Science*. 2012, V. 90, no. 1, pp. 226–235. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.07.008
14. Abedin M.Z., Karim A.A., Gan C.Y., Farid C.G., Barzideh Z., Zzaman W., Sarker Z.I. Identification of angiotensin I converting enzyme inhibitory and radical scavenging bioactive peptides from sea cucumber (*Stichopus vastus*) collagen hydrolysates through optimization. *International Food Research Journal*. 2015, V. 22, Is. 3, pp. 1074–1082.
15. Kim H.K., Kim Y.H., Kim Y.J., Park H.J., Lee N.H. Effects of ultrasonic treatment on collagen extraction from skins of the sea bass *Lateolabrax japonicus*. *Fisheries Science*. 2012, V. 78, pp. 485–490. DOI: 10.1007/s12562-012-0472-x
16. Li D., Mu C., Cai S., Lin W. Ultrasonic irradiation in the enzymatic extraction of collagen. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2009, V. 16, Is. 5, pp. 605–609. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2009.02.004
17. Jia J., Zhou Y., Lu J., Chen A., Li Yu., Zheng G. Enzymatic hydrolysis of Alaska Pollack (*Theragra chalcogramma*) skin and antioxidant activity of the resulting hydrolysate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010, V. 90, Is. 4., pp. 635–640. DOI: 10.1002/jsfa.3861
18. Subhan F., Ikram M., Shehzad A., Ghafoor A. Marine collagen: An emerging player in biomedical applications. *Journal of Food Science and Technology*. 2015, V. 52, Is. 8, pp. 4703–4707. DOI: 10.1007/s13197-014-1652-8
19. Santos M.H., Silva R.M., Dumont V., Neves J.S., Mansur H.S., Heneine L.G. Extraction and characterization of highly purified collagen from bovine pericardium for potential bioengineering applications. *Materials Science and Engineering C*. 2013. V. 33, Is. 2, pp. 790–800. DOI: 10.1016/j.msec.2012.11.003

Информация об авторах

Марианна Игоревна Кременевская – д-р техн. наук, доцент факультета биотехнологий
Вероника Станиславовна Варик – аспирант факультета биотехнологий
Ольга Андреевна Соснина – канд. техн. наук, преподаватель факультета биотехнологий
Роман Евгеньевич Кудинов – технолог

Information about the authors

Marianna I. Kremenevskaya, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Faculty of Biotechnology
Veronika S. Varik, Postgraduate Student of the Faculty of Biotechnology
Olga A. Sosnina, Ph. D. (Eng.), Lecturer of the Faculty of Biotechnology
Roman E. Kudinov, Technologist

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 09.05.2023
Одобрена после рецензирования 22.06.2023
Принята к публикации 24.06.2023

The article was submitted 09.05.2023
Approved after reviewing 22.06.2023
Accepted for publication 24.06.2023