



Ферментативный гидролизат медузы *Rhizostoma pulmo*, как источник биоактивных пептидов

Научная статья
УДК 577.19:593.75

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-6-112-122>

Есина Любовь Михайловна – заведующий сектором технологий переработки водных биоресурсов, Республика Крым, Керчь, Россия

E-mail: esinalm@azniirkh.vniro.ru

Белякова Ирина Андреевна – специалист сектора технологий переработки водных биоресурсов, Республика Крым, Керчь, Россия

E-mail: belyakovaia@azniirkh.vniro.ru

Ушакова Зоя Евгеньевна – специалист сектора технологий переработки водных биоресурсов, Республика Крым, Керчь, Россия

E-mail: ushakovaze@azniirkh.vniro.ru

Штенина Дарья Васильевна – специалист сектора технологий переработки водных биоресурсов, Республика Крым, Керчь, Россия

E-mail: dshtenina@mail.ru

Азово-Черноморский филиал Государственного научного центра Российской Федерации
ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»)

Адрес: Россия, 344002, Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21 в

Аннотация. Высокая численность, регенеративный и репродуктивный потенциал медуз наносят значительный ущерб хозяйственной деятельности прибрежных районов. В связи с этим медузы в последнее время рассматриваются как перспективный сырьевой ресурс, исследования по технологиям их переработки актуальны. Целью данного исследования являлось получение белкового гидролизата из азово-черноморской медузы *Rhizostoma pulmo*, включающего низкомолекулярные пептидные фракции, характеризующиеся антиоксидантными свойствами. Для получения ферментализата использовалась сушеная медуза. Ферментативная модификация осуществлялась с использованием алкалазы и флаворзима. Свободные аминокислоты гидролизата содержали все незаменимые аминокислоты, среди которых преобладали лейцин и лизин. Белковые фракции гидролизата менее 8,7 кДа составили 70%, фракции менее 4,5 кДа – 47,2%. Активность гидролизата по ингибированию радикалов DPPH была на уровне 63-74%. Наличие в гидролизате высокого содержания пептидных структур с молекулярными массами менее 8,7 кДа позволяет рассматривать азово-черноморскую медузу *Rh. pulmo* как перспективный ресурс биоактивных пептидов, направленных на борьбу с окислительным стрессом.

Ключевые слова: медуза, *Rhizostoma pulmo*, гидролиз, алкалаза, флаворзим, антиоксидантные свойства, биоактивные пептиды

Для цитирования: Есина Л.М., Белякова И.А., Ушакова З.Е., Штенина Д.В. Ферментативный гидролизат медузы *Rhizostoma pulmo*, как источник биоактивных пептидов // Рыбное хозяйство. 2024. № 6. С. 112-122. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-6-112-122>

ENZYMATIC HYDROLYSATE OF THE JELLYFISH *RHIZOSTOMA PULMO*, AS SOURCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE PEPTIDES

Lyubov M. Yesina – head of the sector of technologies for processing aquatic biological resources, Republic of Crimea, Kerch, Russia

Irina A. Belyakova – specialist in the sector of technologies for processing aquatic biological resources, Republic of Crimea, Kerch, Russia

Zoya E. Ushakova – specialist in the sector of technologies for processing aquatic biological resources, Republic of Crimea, Kerch, Russia

Daria V. Shtenina – specialist in the sector of technologies for processing aquatic biological resources, Republic of Crimea, Kerch, Russia

Azov-Black Sea Branch of the State Scientific Center of the Russian Federation FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”)

Address: Russia, 344002, Rostov-on-Don, Beregovaya str., 21 v

Annotation. High abundance of jellyfish, as well as its high regenerative and reproductive capacity, are severely detrimental to the economy of coastal regions. For this reason jellyfish is presently considered to be a promising source of raw material, and the investigation into its processing methods is of great salience. This study has been aimed at the derivation of protein hydrolysate from the Black and Azov Sea jellyfish *Rhizostoma pulmo* (barrel jellyfish), which would include low molecular weight peptide fractions characterized by antioxidant properties. For enzymatic hydrolysate derivation, dry jellyfish was used. Enzymatic modification was conducted using alcalase and flavourzyme. Free amino acids of the hydrolysate contained all essential amino acids, among which leucine and lysine prevailed. Protein fractions of the hydrolysate with the molecular mass lower than 8.7 kDa amounted to 70%, and the share of protein fractions with the molecular mass lower than 4.5 kDa was 47.2%. The hydrolysate inhibition of DPPH radicals was around 63–74%. High content of peptide structures with molecular masses lower than 8.7 kDa gives the basis to consider the Azov and Black Sea jellyfish *Rh. pulmo* as promising source of biologically active peptides providing mitigation of oxidative stress.

Keywords: jellyfish, *Rhizostoma pulmo*, hydrolysis, alcalase, flavourzyme, antioxidant properties, biologically active peptides

For citation: Yesina L.M., Belyakova I.A., Ushakova Z.E., Shtanina D.V. (2024). Enzymatic hydrolysate of the jellyfish *Rhizostoma pulmo*, as a source of biologically active peptides // Fisheries. No. 6. Pp. 112-122. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-6-112-122>

Рисунки и таблицы – авторские / The drawings and tables were made by the author

ВВЕДЕНИЕ

Скопления медуз в Азовском и Черном морях наносят непоправимый вред рекреационной деятельности Крыма и Краснодарского края. С учетом тенденции к увеличению их численности и сокращению запасов рыбных ресурсов [1; 2], исследования по технологиям переработки медуз являются актуальными, медузы рассматриваются как перспективный источник пищевых продуктов, кормов, биологически активных соединений [3-5]. В направлении использования азово-черноморской медузы *Rhizostoma pulmo* на пищевые цели разработаны технологии их посола, изготовления пресервов, мучных кондитерских изделий [6-8]. Одним из доступных способов освоения

данного сырьевого ресурса является получение белковых гидролизатов *Rh. pulmo* с различной степенью деструкции, обладающих антиоксидантной активностью [9].

Биоактивные пептиды представляют собой фрагменты гидролиза белка и обладают рядом биологических функций: антиоксидантных, противовоспалительных, антигипертензивных, иммуномодулирующих и антимикробных.

Гидролизаты являются источником биоактивных пептидов, представляющих собой низкомолекулярные фрагменты (менее 6 кДа), состоящие из 2-20 аминокислот и обладающие определенной биологической активностью, которая зависит от состава аминокислот и структурных свойств пептида: последовательности аминокислот, длины, молекулярной массы, заряда и положения аминокислоты (концевой – N или – C группы) [10]. Исследования белковых гидролизатов показали их возможность снижать или удалять свободные радикалы, которые могут вызвать такие заболевания как артрит [11], оказывать положительное действие при заболевании диабетом и нарушении липидного обмена [12; 13], способствовать восстановлению кожи, поврежденной УФ-излучением [14], противостоять старению организма человека [15], ингибировать ангиотензин-превращающий фермент [16].

Пищевые белки, в качестве источника биоактивных пептидов, выбираются на основе следующих критериев: применение недоиспользуемых белков и использование белков, содержащих специфические пептидные последовательности или аминокислотные остатки, представляющие особый фармакологический интерес [17].

Медуза *Rh. pulmo* удовлетворяет данным критериям, поскольку является неиспользуемым сырьевым ресурсом и содержит коллаген, применение которого в последнее время набирает все большую популярность в производстве продуктов функциональной направленности, БАД для спортивного, профилактического и повседневного употребления. По данным Leone и др. [18], до 40% белка *Rh. pulmo* представлено коллагеном, для данного вида медуз отмечается наличие всех



незаменимых аминокислот, из заменимых аминокислот – высокое содержание глицина, аспарагиновой и глутаминовой кислот [19].

Ферментативный гидролиз – наиболее подходящий и распространённый метод получения гидролизатов с различной молекулярной массой белковых фракций и аминокислотным составом, что обуславливает разные функциональные и биологические свойства [20; 21]. Гидролиз может осуществляться с использованием одного фермента или в комбинации нескольких ферментов [21-25]. Согласно De Domenico [9], антиоксидантная активность фракций пептидов медузы *Rh. pulmo* с молекулярной массой менее 3 кДа, полученных в результате двухступенчатого гидролиза с использованием пепсина и коллагеназы, более чем в четыреста раз превышала антиоксидантную активность пептидов, обработанных только пепсином. Высокая активность по улавливанию гидроксильных радикалов была показана для фракции гидролизата размером пептидов менее 3 кДа и более 1 кДа, полученной при гидролизе трипсином коллагена зонтика медузы *Rhopilema hispidum*. Данная фракция продемонстрировала самую сильную способность к хелатированию Cu_{2+} и высокие ингибирующие к тирозиназу свойства [26].

С учетом вышеизложенного, целью исследования являлось получение белкового гидролизата медузы *Rh. pulmo*, содержащего низкомолекулярные пептидные фракции.

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

- получение гидролизата с использованием ферментных препаратов, обладающих субстратной специфичностью по отношению к коллагену;
- определение молекулярно-массового распределения пептидных фракций, спектра свободных аминокислот в полученном гидролизате;
- оценка активности ферментализата по ингибированию радикалов DPPH (ДФПГ – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил).

МЕТОДЫ

Объектом исследования являлась медуза-корнерот *Rh. pulmo*, заготовленная в июле-сентябре 2023 г., которая характеризовалась содержанием белка ($0,57 \pm 0,06$); воды – ($98,00 \pm 0,28$); минеральных веществ – ($1,40 \pm 0,09$)% и жира – ($0,05 \pm 0,01$)%. Для концентрации нутриентного состава медузу-сырец перед ферментализом высушивали до содержания воды не более 15% в условиях атмосферного циркулирующего воздуха, поскольку использование нагрева при сушке при-

водит к потере белковых веществ [27]. Содержание белка в высушенной медузе составляло 26-28%.

Массовую долю жира, воды, сухих и минеральных веществ, хлоридов (поваренной соли), активную кислотность (рН) определяли по ГОСТ 7636–85; массовую долю белка в медузе и гидролизатах определяли с использованием комплекса «Кельтран» («Keltrum») по методике [28].

Гидролиз осуществляли с использованием сериновой эндопептидазы алкалазы 24L активностью 2,4 AU/г и флаворзима 1000 Л (Flavourzyme 1000L – комплекс эндо- и экзопротеаз из гриба *Aspergillus oryzae*, производство Китай). Сушеную медузу перед гидролизом измельчали, соотношение измельченной медузы и воды при гидролизе составляло 1:7.

Процесс ферментативного гидролиза контролировали по содержанию аминного азота (формольно-титруемого), в соответствии с методом Черногорцева [29], и по степени гидролиза – отношению количества аминного азота к общему азоту [30; 31].

Активность гидролизата по ингибированию радикалов DPPH определяли в соответствии с методикой, описанной Teng и др. [21].

Молекулярно-массовое распределение пептидных фракций в гидролизате оценивали методом жидкостной хроматографии высокого давления, в соответствии с МУ 4.1/4.2.2484-09 [32]. Определяли хроматографический профиль анализируемого гидролизата, установлено процентное содержание пептидных фракций в заданных диапазонах молекулярных масс относительно всей белковой смеси. Исследования аминокислотного состава проводили по [33].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ рынка ферментных препаратов показал, что в настоящее время их ассортимент ограничен, происходит переориентация отечественной промышленности на азиатский рынок [34]. При выборе ферментного препарата для модификации медузы руководствовались следующими принципами: активность по отношению к коллагену, простота применения, доступность, возможность использования при рН близком к сырью. Таким критериям удовлетворяла алкалаза – наиболее эффективный фермент в высвобождении биоактивных пептидов из различных белков, в т.ч. коллагена [35; 36]. Алкалаза способна воздействовать на область двух неспирализованных участков на обоих концах молекулы, также расщепляет белки в середине аминокислотной цепи. Гидролиз белка, катализируемый алкалазой, имеет тенденцию к образованию пептидов

небольшого размера [37]. Для дальнейшей деградации белка был выбран флаворзим, также способствующий получению пептидов с низкой молекулярной массой [38].

Гидролиз проводили в два этапа:

1 этап: количество алкалазы 2% от массы сушеной медузы, соотношение сушеной медузы и воды – 1:7, $t = (55 \pm 2)^\circ\text{C}$, pH 8,0 (указанное значение pH обеспечивали добавлением 33%-ного раствора NaOH), продолжительность гидролиза $\tau = 2$ ч;

2 этап: после двух часов гидролиза с алкалазой добавляли 2% флаворзима от массы сушеной медузы, продолжительность гидролиза $\tau = 2$ ч, $t = (55 \pm 2)^\circ\text{C}$ (pH 7,2, что соответствует оптимальному значению активной кислотности для данного фермента).

Аминный азот после двухэтапного гидролиза составлял 186,8-205,0 мг%, степень гидролиза – 23,0-25,6%. Ферменты инактивировали нагреванием при температуре 80°C в течение 15 мин. После чего гидролизат охлаждали проточной водой до температуры 30°C , отстаивали при температуре $(6 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 8 ч. для седиментации непрогидролизованной массы и разделения ферментализата на жидкую фракцию и плотный остаток. Концентрирование/упаривание гидролизата осуществляли на ротационном испарителе Stegler R-213b до содержания сухих веществ не менее 40%.

Гидролизат, полученный из сушеной медузы, представляет собой однородную, непрозрачную, слегка тягучую жидкость темно-коричневого цвета, с легким запахом, свойственным гидролизатам, с насыщенным, солоноватым, похожим на грибной, вкусом. Содержание белка в гидролизате составляет не менее 20% (табл. 1).

Спектр свободных аминокислот гидролизата представлен в таблице 2, молекулярно-массовое распределение пептидных фракций – в таблице 3.

Анализ спектра свободных аминокислот свидетельствует о наличии в гидролизате полного набора незаменимых аминокислот, которые составляют 36% от общей суммы

свободных аминокислот. Преобладающими незаменимыми аминокислотами являлись лейцин и лизин, из заменимых аминокислот – аргинин. Гидролизат представлен, в основном, низкомолекулярными пептидными фракциями. На долю фракций менее 8,7 кДа приходится 70%, а на долю фракций менее 4,5 кДа – 47,2%, что позволяет говорить об антиоксидантных свойствах полученного гидролизата. Тест на антиоксидантные свойства, с помощью способности улавливать свободные радикалы, показал, что активность гидролизата по ингибированию радикалов DPPH составила 63-74%.

Таким образом, полученный гидролизат из сушеной медузы можно рассматривать как перспективный белковый ресурс для разработки новых функциональных продуктов питания, направленных на предотвращение окислительного стресса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидролизат из сушеной медузы *Rh. pulmo*, полученный методом ферментативного гидролиза с использованием алкалазы и флаворзима, представляет собой смесь биоактивных пептидов. На долю фракций пептидов молекулярной массой менее 8,7 кДа приходится 70%, массой менее 5,0 кДа – 51,8% от всех пептидных фракций гидролизата, активность гидролизата по ингибированию радикалов DPPH составляет 63-74%. Это позволяет говорить об антиоксидантных свойствах гидролизата. В дальнейшем, на основе полученного гидролизата, будут продолжены исследования в направлении разработки функциональных продуктов, направленных на борьбу с окислительным стрессом.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад в работу авторов: авторам в равной мере принадлежит участие в постановке цели, планировании и организации работы, получении экспериментальных данных, их обработке и анализе, составлении макета статьи, формулировании выводов, подготовке статьи и ее окончательной проверке.

The authors claim the absence of a conflict of interests. The contribution of individual authors is as follows: the

Таблица 1. Химический состав и энергетическая ценность гидролизата / **Table 1.** Chemical composition and calorific value of the hydrolysate

Наименование показателя	Норма
Массовая доля белка, %, не менее	20
Массовая доля сухих веществ, %, не менее	40
Массовая доля минеральных веществ, %	6-10
Массовая доля жира, %, не более	0,2
Массовая доля поваренной соли, %, не более	6
Калорийность, ккал, не менее	80

Таблица 2. Спектр свободных аминокислот гидролизата медузы /
Table 2. Range of free amino acids of the jellyfish hydrolysate

Наименование аминокислоты	Содержание, *	
	мг/100 мл	%
Валин (Val)	34,6	2,9
Лейцин (Leu)	111,1	9,4
Изолейцин (Ile)	45,0	3,8
Лизин (Lyz)	92,6	7,9
Метионин (Met)	9,2	0,8
Фенилаланин (Phg)	45,9	3,9
Триптофан (Tri)	26,4	2,2
Треонин (Thr)	54,9	4,7
Цистин (Cys)	9,3	0,8
Тирозин (Tyr)	108,3	9,2
Аргинин (Arg)	165,5	14,1
Гистидин (His)	74,2	6,3
Пролин (Pro)	94,2	8,0
Серин (Ser)	55,3	4,7
Аланин (Ala)	60,4	5,1
Глицин (Gly)	110,4	9,4
Аспаргиновая кислота (Aci)	24,7	2,1
Глутаминовая кислота (Glu)	54,6	4,6
ΣАК	1176,6	100,0
ΣНАК	419,7	35,7

Примечание: * Погрешность (неопределенность) составляет ± 11,1%.

Таблица 3. Молекулярно-массовое распределение пептидных фракций гидролизата медузы / **Table 3.** Molecular mass distribution of the jellyfish hydrolysate peptide fractions

Диапазон молекулярных масс, кДа	Массовая доля фракции по оптической плотности при 280 нм, %*
свыше 217	2,1
217-57,1	2,5
57,1-19,9	5,2
19,9-8,7	20,2
8,7-4,5	22,8
4,5-2,6	12,2
2,6-1,5	16,2
менее 1,5	18,8

Примечание: * Погрешность (неопределенность) составляет ± 5,0%.

На долю пептидной фракции с молекулярной массой менее 5,0 кДа приходится 51,8% от всех пептидных фракций гидролизата.

authors have taken an equal part in establishing the work objectives, planning and workflow management, obtaining experimental data, data processing and analysis, penning the manuscript, stating the conclusions, as well as in the final proofreading of the article and preparation for its submission.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Мирзоян З.А., Мартынюк М.Л., Хренкин Д.В., [и др.] Развитие популяций сцифоидных медуз *Rhizostoma pulmo* и *Aurelia aurita* в Азовском море // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2. № 2. С. 27-35. <https://doi.org/10.47921/2619-1024-2019-2-2-27-35>.
2. Boero F., Brotz L., Gibbons M.J., [et al.] (2016). Impacts and effects of ocean warming on jellyfish // Explaining ocean warming: causes, scale, effects and consequences. Gland, Switzerland: IUCN Publ. Pp. 213-237. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.08.en>.
3. Thinking about the future of food safety – A foresight report. (2022). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations Publ. 144 p. <https://doi.org/10.4060/cb8667en>.
4. Duarte I.M., Marques S.C., Leandro S.M., [et al.] (2021). An overview of jellyfish aquaculture: for food, feed, pharma and fun // Rev. Aquac. No. 14. Pp. 265-287. <https://doi.org/10.1111/raq.12597>.
5. Raposo A., Alasqah I., Alfheaid H.A. [et al.] (2022). Jellyfish as food: a narrative review / A. Raposo, //

- Foods. Vol. 11. P. 2773. <https://doi.org/10.3390/foods11182773>.
6. Есина Л.М., Белякова И.А., Ушакова З.Е. [и др.] Разработка технологии соленой продукции из медузы *Rhizostoma pulmo* (Macri, 1778) // Водные биоресурсы и среда обитания. 2023. Т. 6, № 2. С. 107-120. <https://doi.org/10.47921/2619-1024-2023-6-2-107>. EDN: KSYMME.
 7. Есина Л.М., Белякова И.А. Разработка технологии пресервов из медузы *Rhizostoma pulmo* (Macri, 1778) / Л.М. Есина, // Труды АЗНИИРХ : сборник научных трудов. Т. 4. Ростов-на-Дону: Изд-во Азово-Черноморского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («АЗНИИРХ»), 2023. С. 89-93. EDN: CXUZQA.
 8. Пат. 2796838 С1 Российская Федерация, МПК А21D 2/34, А21D 13/80, А23L 17/00. Способ производства крекера из медузы / Л.М. Есина, С.Л. Чернявская, И.А. Белякова. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (RU). № 2022129620; заявл. 15.11.2022; опубл. 29.05.2023. Бюл. № 16.
 9. De Domenico S., Rinaldis G. De, Paulmery M. [et al.] (2019). Barrel jellyfish (*Rhizostoma pulmo*) as source of antioxidant peptides // Marine Drugs. Vol. 17, No. 134. <https://doi.org/10.3390/md17020134>.
 10. Kurnianto M.A., Aulia S.S. (2023). Production of fish-bioactive peptides by conventional & emerging technologies: a review / M.A. Kurnianto, // Nusantara Science and Technology Proceedings. Vol. 36. Pp. 154-162. <https://doi.org/10.11594/nstp.2023.3622>.
 11. Sudirman S., Chen C.Y., Chen C.K. [et al.] (2023). Fermented jellyfish (*Rhopilema esculentum*) collagen enhances antioxidant activity and cartilage protection on surgically induced osteoarthritis in obese rats // Front. Pharmacol. Vol. 14. Pp. 1117893. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1117893>.
 12. Зинина О.В., Николова А.Д., Хвостов Д.В. [и др.] Белковый гидролизат как источник биоактивных пептидов в пищевой продукции диетического питания / О.В. Зинина, // Пищевые системы. 2023. Т. 6, № 4. С. 440-448. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-440-448>.
 13. Данилова А.Л., Шульгина Л.В., Приходько Ю.В. [и др.] Белковая композитная смесь на основе морских объектов: товароведные и биокорректирующие свойства // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2019. № 3 (91). С. 141-151. <https://doi.org/10.24866/2311-2271/2019-3/141-151>.
 14. Fan J., Zhuang Y., Li B. (2013). Effects of collagen and collagen hydrolysate from jellyfish umbrella on histological and immunity changes of mice photoaging // Nutrients. Vol. 5, no. 1. Pp. 223-233. <https://doi.org/10.3390/nu5010223>.
 15. Yang H., Zhang Q., Zhang B., [et al.] (2023). Potential active marine peptides as anti-aging drugs or drug candidates // Mar. Drugs. Vol. 21. Pp. 144. <https://doi.org/10.3390/md21030144>.
 16. Liu X., Zhang M., Shi Y., [et al.] (2016). Production of the angiotensin I converting enzyme inhibitory peptides and isolation of four novel peptides from jellyfish (*Rhopilema esculentum*) protein hydrolysate // J. Sci. Food Agric. Vol. 96. Pp. 3240-8. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7507>.
 17. Bhandari D., Rafiq S., Gat Y., [et al.] (2020). A review on bioactive peptides: Physiological functions, bioavailability and safety // International Journal of Peptide Research and Therapeutics. Vol. 26. Pp. 139-150. <https://doi.org/10.1007/s10989-019-09823-5>.
 18. Leone A., Lecci R.M., Durante M., [et al.] (2015). The bright side of gelatinous blooms: Nutraceutical value and antioxidant properties of three Mediterranean jellyfish (*Scyphozoa*) // Marine Drugs. Vol. 13, issue 8. Pp. 4654-4681. <https://doi.org/10.3390/md13084654>.
 19. Bityutskaya O.E., Belyakova I.A., Mazalova N.F., [et al.] (2022). Functional and technological properties and nutritional value of jellyfish *Rhizostoma pulmo* (Macri, 1778) // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. Vol. 3. Pp. 82-91. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-3-82-91>.
 20. Borrajo P., Pateiro M., Barba F.J., [et al.] (2019). Antioxidant and antimicrobial activity of peptides extracted from meat by-products: A review // Food Analytical Methods. Vol. 12. Pp. 2401-2415. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01595-4>.
 21. Teng L., Wang X., Yu H., [et al.] (2023). Jellyfish peptide as an alternative source of antioxidant // Antioxidants (Basel). Vol. 12. Pp. 742. <https://doi.org/10.3390/antiox12030742>.
 22. Upata M., Siriwoharn T., Makkhun S., [et al.] (2022). Tyrosinase inhibitory and antioxidant activity of enzymatic protein hydrolysate from jellyfish (*Lobonema smithii*) // Foods. (2022). Vol. 11. Pp. 615. <https://doi.org/10.3390/foods11040615>.
 23. Yuzhen M., Huahua Yu., Rong X., [et al.] (2023). Lipid-lowering activity and mechanism of peptides from jellyfish *Nemopilema nomurai* // Journal of Functional Foods. Vol. 101. e105421. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105421>.
 24. Raksha N., Halenova T., Vovk T., [et al.] (2023). Anti-obesity effect of collagen peptides obtained from *Diplulmaris antarctica*, a jellyfish of the Antarctic region // Croat. Med. J. Vol. 64. Pp. 21-28. <https://doi.org/10.3325/cmj.2023.64.21>.
 25. Pivnenko T.N., Kovalev A.N., Pozdnyakova Y.M., [et al.] (2022). The composition of collagen-containing preparations from *Rhopilema asamushi* Uchida jellyfish and assessment of the safety of their external use // Appl. Biochem. Microbiol. Vol. 58. Pp. 864-872. <https://doi.org/10.1134/S0003683822070043>.
 26. Ab Aziz N.A., Salim N., Zarei M. [et al.] (2021). Extraction, anti-tyrosinase, and antioxidant activities of the collagen hydrolysate derived from *Rhopilema hispidum* // Prep. Biochem. Biotechnol. Vol. 51. Pp. 44-53. <https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1789991>.
 27. Yuferova A.A. (2017). The impact of different drying modes of scyphozoan jellyfish *Rhopilema esculentum* and *Aurelia aurita* on the protein and carbohydrate components in their composition and the possibility of their use as dried prepared food // Food Process Engineering. Vol. 40. issue 1. Pp. 1-18. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12326>.

28. Методика измерений массовой доли белка методом Кьельдаля. МИ 002-2020. – М.: Изд-во ВНИРО. 2020. 11 с.
29. Черногорцев А.П. Переработка мелкой рыбы на основе ферментирования сырья. – М.: Пищ. промышленность, 1973. 90 с.
30. Разумовская Р.Г. Получение гидролизатов, белковой массы и концентратов из мелкой рыбы // Рыбное хозяйство. 1973. № 6 С. 66-69.
31. Мухин В.А., Новиков В.Ю. Ферментативные белковые гидролизаты тканей морских гидробионтов: получение, свойства и практическое использование – Мурманск: Изд-во ПИНРО. 2001. 97 с.
32. Оценка подлинности и выявление фальсификации молочной продукции: методические указания. – М.: Изд-во Федерального центра гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 30 с.
33. Методы анализа минорных биологически активных веществ пищи / под ред. В.А. Тутельяна, К.И. Эллера. – М.: Династия, 2010. 160 с.
34. Толкачева А.А., Черенков Д.А., Корнеева О.С. [и др.]. Ферменты промышленного назначения – обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития, // ВГУИТ. 2017. Т. 79, № 4 (74). С. 197-203. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203>.
35. Shanshan S., Yahui G., Junde Ch., [et al.] (2022). Identification and release kinetics of peptides from tilapia skin collagen during alcalase hydrolysis // Food Chemistry. – Vol. 378. e132089. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132089>.
36. Woo H., Jeong G.A., Choi H., [et al.] (2023). Characterization of low-molecular-weight collagen from Korean native chicken feet hydrolyzed using alcalase / H. Woo, // J. Microbiol. Biotechnol. Vol. 33. Pp. 656-661. <https://doi.org/10.4014/jmb.2212.12047>.
37. Tacias-Pascacio V.G., Morellon-Sterling R., Siar E.H., [et al.] (2020). Use of alcalase in the production of bioactive peptides: A review // International Journal of Biological Macromolecules. Vol. 165. Pp. 2143-2196. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.060>.
38. Alahmad K., Noman A., Xia W., [et al.] (2023). Influence of the enzymatic hydrolysis using flavourzyme enzyme on functional, secondary structure, and antioxidant characteristics of protein hydrolysates produced from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) // Molecules. Vol. 28. Pp. 519. <https://doi.org/10.3390/molecules28020519>.
- of the United Nations Publ. 2022. 144 p. <https://doi.org/10.4060/cb8667en>.
4. Duarte I.M., Marques S.C., Leandro S.M., [et al.] (2021). An overview of jellyfish aquaculture: for food, feed, pharma and fun // Rev. Aquac. No. 14. Pp. 265-287. <https://doi.org/10.1111/raq.12597>.
5. Raposo A., Alasqah I., Alfheaid H.A. [et al.] (2022). Jellyfish as food: a narrative review / A. Raposo, // Foods. Vol. 11. P. 2773. <https://doi.org/10.3390/foods11182773>.
6. Esina L.M., Belyakova I.A., Ushakova Z.E., [et al.] (2023). Development of the technology for salted products derived from barrel jellyfish *Rhizostoma pulmo* (Macri, 1778) // Aquatic Bioresources & Environment. Vol. 6. no. 2. Pp. 107-120. <https://doi.org/10.47921/2619-1024-2023-6-2-107>. EDN: KSYMME. (In Russ.).
7. Esina L.M., Belyakova I.A. (2023). Development of processing technology for the preserves derived from the barrel jellyfish *Rhizostoma pulmo* (Macri, 1778) // Proceedings of AzNIIRKH : collection of research papers. Vol. 4. Rostov-on-Don: Azov-Black Sea Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography” (“AzNIIRKH”). Pp. 89-93. EDN: CXUZQA. (In Russ.).
8. Pat. 2796838 C1 Russian Federation, MPK A21D 2/34, A21D 13/80, A23L 17/00. Production method for cracker biscuits derived from jellyfish / L.M. Esina, S.L. Chernyavskaya, I.A. Belyakova. Patent-holder: Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography” (RU). No. 2022129620; Appl. 15.11.2022; Publ. 29.05.2023. Bull. No. 16. (In Russ.).
9. De Domenico S., De Rinaldis G., Paulmery M. [et al.] (2019). Barrel jellyfish (*Rhizostoma pulmo*) as source of antioxidant peptides // Marine Drugs. Vol. 17, No. 134. <https://doi.org/10.3390/md17020134>.
10. Kurnianto M.A., Aulia S.S. (2023). Production of fish-bioactive peptides by conventional & emerging technologies: a review // Nusantara Science and Technology Proceedings. Vol. 36. Pp. 154-162. <https://doi.org/10.11594/nstp.2023.3622>.
11. Sudirman S., Chen C.Y., Chen C.K., [et al.] (2023). Fermented jellyfish (*Rhopilema esculentum*) collagen enhances antioxidant activity and cartilage protection on surgically induced osteoarthritis in obese rats // Front. Pharmacol. Vol. 14. Pp. 1117893. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1117893>.
12. Zinina O.V., Nikolina A.D., Khvostov D.V. [et al.] (2023). Protein hydrolysate as a source of bioactive peptides in diabetic food products // Food Systems. Vol. 6, no. 4. Pp. 440-448. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-440-448>. (In Russ.).
13. Danilova A.L., Shul'gina L.V., Prikhod'ko Yu.V. [et al.] (2019). Protein composition based on marine object: trading and bio-corrective properties // The Bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management. No. 3 (91). Pp. 141-151. DOI: 10.24866/2311-2271/2019-3/141-151. (In Russ.).
14. Fan J., Zhuang Y., Li B. (2013). Effects of collagen and collagen hydrolysate from jellyfish umbrella on histological and immunity changes of mice photoaging // Nutrients. Vol. 5, no. 1. Pp. 223-233. <https://doi.org/10.3390/nu5010223>.

REFERENCES AND SOURCES

1. Mirzoyan Z.A., Martynyuk M.L., Khrenkin D.V. [et al.] (2019). Development of the scyphozoan jellyfish *Rhizostoma pulmo* and *Aurelia aurita* populations in the Azov Sea // Aquatic Bioresources & Environment. Vol. 2. no. 2. Pp. 27-35. <https://doi.org/10.47921/2619-1024-2019-2-2-27-35> (In Russ.).
2. Boero F., Brotz L., Gibbons M.J., [et al.] (2016). Impacts and effects of ocean warming on jellyfish // Explaining ocean warming: causes, scale, effects and consequences. Gland, Switzerland: IUCN Publ. Pp. 213-237. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.08.en>.
3. Thinking about the future of food safety – A foresight report. Rome: Food and Agriculture Organization

15. Yang H., Zhang Q., Zhang B., [et al.] (2023). Potential active marine peptides as anti-aging drugs or drug candidates // *Mar. Drugs*. Vol. 21. Pp. 144. <https://doi.org/10.3390/md21030144>.
16. Liu X., Zhang M., Shi Y., [et al.] (2016). Production of the angiotensin I converting enzyme inhibitory peptides and isolation of four novel peptides from jellyfish (*Rhopilema esculentum*) protein hydrolysate // *J. Sci. Food Agric.* Vol. 96. Pp. 3240-8. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7507>.
17. Bhandari D., Rafiq S., Gat Y., [et al.] (2020). A review on bioactive peptides: Physiological functions, bioavailability and safety // *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. Vol. 26. Pp. 139-150. <https://doi.org/10.1007/s10989-019-09823-5>.
18. Leone A., Lecci R.M., Durante M., [et al.] (2015). The bright side of gelatinous blooms: Nutraceutical value and antioxidant properties of three Mediterranean jellyfish (*Scyphozoa*) // *Marine Drugs*. Vol. 13, issue 8. Pp. 4654-4681. <https://doi.org/10.3390/md13084654>.
19. Bityutskaya O.E., Belyakova I.A., Mazalova N.F., [et al.] (2022). Functional and technological properties and nutritional value of jellyfish *Rhizostoma pulmo* (Macri, 1778) // *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. Vol. 3. Pp. 82-91. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-3-82-91>.
20. Borrajo P., Pateiro M., Barba F.J., [et al.] (2019). Antioxidant and antimicrobial activity of peptides extracted from meat by-products: A review // *Food Analytical Methods*. Vol. 12. Pp. 2401-2415. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01595-4>.
21. Teng L., Wang X., Yu H., [et al.] (2023). Jellyfish peptide as an alternative source of antioxidant // *Antioxidants (Basel)*. Vol. 12. Pp. 742. <https://doi.org/10.3390/antiox12030742>.
22. Upata M., Sirovoharn T., Makkhun S., [et al.] (2022). Tyrosinase inhibitory and antioxidant activity of enzymatic protein hydrolysate from jellyfish (*Lobonema smithii*) // *Foods*. (2022). Vol. 11. Pp. 615. <https://doi.org/10.3390/foods11040615>.
23. Yuzhen M., Huahua Yu., Rong X., [et al.] (2023). Lipid-lowering activity and mechanism of peptides from jellyfish *Nemopilema nomurai* // *Journal of Functional Foods*. Vol. 101. e105421. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105421>.
24. Raksha N., Halenova T., Vovk T., [et al.] (2023). Anti-obesity effect of collagen peptides obtained from *Diplulmaris antarctica*, a jellyfish of the Antarctic region // *Croat. Med. J.* Vol. 64. Pp. 21-28. <https://doi.org/10.3325/cmj.2023.64.21>.
25. Pivnenko T.N., Kovalev A.N., Pozdnyakova Y.M., [et al.] (2022). The composition of collagen-containing preparations from *Rhopilema asamushi* Uchida jellyfish and assessment of the safety of their external use // *Appl. Biochem. Microbiol.* Vol. 58. Pp. 864-872. <https://doi.org/10.1134/S0003683822070043>.
26. AbAziz N.A., Salim N., Zarei M. [et al.] (2021). Extraction, anti-tyrosinase, and antioxidant activities of the collagen hydrolysate derived from *Rhopilema hispidum* // *Prep. Biochem. Biotechnol.* Vol. 51. Pp. 44-53. <https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1789991>.
27. Yuferova A.A. (2017). The impact of different drying modes of scyphozoan jellyfish *Rhopilema esculentum* and *Aurelia aurita* on the protein and carbohydrate components in their composition and the possibility of their use as dried prepared food // *Food Process Engineering*. Vol. 40. issue 1. Pp. 1-18. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12326>.
28. Methodology for the measurement of protein mass fraction using the Kjeldahl method. MI 002-2020. (2020). Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution "Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography" Publ. 11 p. (In Russ.)
29. Chernogortsev A.P. (1973). Processing of small fish based on the fermentation of raw material. Moscow: Food Industry. 90 p. (In Russ.)
30. Razumovskaya R.G. (1973). Derivation of hydrolysates, protein paste, and concentrated food products from small fish // *Fisheries*. No. 6. Pp. 66-69. (In Russ.)
31. Mukhin V.A., Novikov V.Yu. (2001). Enzymatic protein hydrolysates derived from the tissues of aquatic living organisms: production, properties, and practical use – Murmansk: Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography named after Nikolai M. Knipovich Publ. 97 p. (In Russ.)
32. Verification and identification of adulteration in dairy products: methodological guidelines. (2009). Moscow: State Budgetary Healthcare Institution "Center for Hygiene and Epidemiology" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Wellbeing Publ. 30 p. (In Russ.)
33. Methods of analysis of the minor biologically active substances in food (2010). / V.A. Tutel'yan, K.I. Eller (eds.). Moscow: Dynasty. 160 p. (In Russ.)
34. Tolkacheva A.A., Cherenkov D.A., Korneeva O.S. [et al.] (2017). Enzymes of industrial purpose – review of the market of enzyme preparations and prospects for its development // *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. Vol. 79, no. 4 (74). Pp. 197-203. DOI: 10.20914/2310-1202-2017-4-197-203. (In Russ.)
35. Shanshan S., Yahui G., Junde Ch., [et al.] (2022). Identification and release kinetics of peptides from tilapia skin collagen during alcalase hydrolysis // *Food Chemistry*. – Vol. 378. e132089. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132089>.
36. Woo H., Jeong G.A., Choi H., [et al.] (2023). Characterization of low-molecular-weight collagen from Korean native chicken feet hydrolyzed using alcalase / H. Woo, // *J. Microbiol. Biotechnol.* Vol. 33. Pp. 656-661. <https://doi.org/10.4014/jmb.2212.12047>.
37. Tacias-Pascacio V.G., Morellon-Sterling R., Siar E.H., [et al.] (2020). Use of alcalase in the production of bioactive peptides: A review // *International Journal of Biological Macromolecules*. Vol. 165. Pp. 2143-2196. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.060>.
38. Alahmad K., Noman A., Xia W., [et al.] (2023). Influence of the enzymatic hydrolysis using flavourzyme enzyme on functional, secondary structure, and antioxidant characteristics of protein hydrolysates produced from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) // *Molecules*. Vol. 28. Pp. 519. <https://doi.org/10.3390/molecules28020519>.

Материал поступил в редакцию / Received 19.04.2024
Принят к публикации / Accepted for publication 02.11.2024