



Технология переработки водных биоресурсов

Исследование гидролиза медузы *Rhizostoma pulmo* и характеристика полученного продукта

И.А. Белякова, Л.М. Есина, З.Е. Ушакова, Д.В. Штенина

Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») ул. Береговая, 21 в, Ростов-на-Дону, 344002
belyakovaia@azniirkh.vniro.ru

SPIN-код: И.А. Белякова 6125–8156, Л.М. Есина 2412–2190, З.Е. Ушакова 2281–1763, Д.В. Штенина 3222–9569

Цель работы: разработка технологических параметров гидролиза медузы *Rhizostoma pulmo* с использованием ферментных препаратов «Энзи-микс» и алкалазы, представленных на отечественном рынке, исследование аминокислотного и минерального состава гидролизата. **Используемые методы:** процесс гидролиза контролировали по изменению концентрации пептидов в гидролизате, содержанию аминного азота и степени гидролиза. Для исследования химического, аминокислотного и минерального состава использовали стандартные методы. **Новизна:** элементами новизны является использование для гидролиза медуз после их размораживания, а также проведение гидролиза без добавления воды в гидролизуемое сырьё. **Результат:** установлен оптимальный режим гидролиза медузы *Rh. pulmo* после её размораживания с использованием 1% алкалазы при температуре 55 ± 2 °C в течение 1 ч. Показано, что алкалаза наиболее эффективна по накоплению аминного азота, чем ферментный препарат «Энзи-микс». Значения аминного азота через 1 ч гидролиза с использованием 1% алкалазы были выше значений данного показателя, полученных при гидролизе с 1,5% «Энзи-микса» после 3 ч гидролиза при температуре 40 ± 2 °C. Гидролизат после концентрирования до содержания сухих веществ более 30% содержит $15,1 \pm 0,59\%$ белка, представленного 48% незаменимых аминокислот, среди которых преобладающими являются лейцин и изолейцин (15%). Из заменимых кислот следует выделить глицин (17%). Для всех незаменимых аминокислот, кроме валина, аминокислотный скор превышает 100%. Употребление около 20 г гидролизата может удовлетворить суточную физиологическую потребность человека в магнии. **Практическая значимость:** полученные данные аминокислотного профиля и минерального состава гидролизата медузы *Rh. pulmo* позволяют рассматривать гидролизат как перспективный ингредиент для продуктов функциональной направленности.

Ключевые слова: медуза *Rhizostoma pulmo*, гидролиз, алкалаза, аминный азот, степень гидролиза.

Study of the jellyfish *Rhizostoma pulmo* hydrolysis and characterization of the obtained product

Irina A. Belyakova, Lubov M. Esina, Zoia E. Ushakova, Daria V. Shtenina

Azov-Black Sea branch of VNIRO («AzNIIRKH»), 21b, Beregovaya st., Rostov-on-Don, 344002, Russia

Abstract. The purpose of this work is to develop technological parameters for the hydrolysis of barrel jellyfish *Rhizostoma pulmo* involving the use of enzymatic agents «Enzy-mix» and alcalase, available through the domestic market, as well as to investigate the amino acid and mineral composition of the resultant hydrolysate. **Methods used:** the process of hydrolysis has been assessed based on the changes in peptide concentrations in the hydrolysate, the content of amino nitrogen, and the degree of hydrolysis. To investigate its chemical, amino acid, and mineral composition, the standard methods were used. **Novelty:** the use of jellyfish for hydrolysis after its thawing and the hydrolysis procedure not involving the addition of water into the raw material subjected to hydrolysis present a novel approach. **Result:** the optimal regime for hydrolysis of barrel jellyfish *Rh. pulmo* after its thawing has been identified, which was characterized by the use of 1% alcalase at the temperature 55 ± 2 °C and duration of 1 h. It has been shown that alcalase is more effective in terms of amino nitrogen accumulation than enzymatic agent «Enzy-mix». The values of amino nitrogen after 1 h of hydrolysis involving the use of 1% alcalase were higher than the values of the same parameter obtained during the 3-hour hydrolysis involving 1.5% «Enzy-mix» at the temperature 40 ± 2 °C. The hydrolysate, after its concentration to the dry matter exceeding 30%, contains no less than $15.1 \pm 0.59\%$ of protein represented by 48% of essential amino acids, out of which leucine and isoleucine prevail (15%). Among non-essential amino acids, the most prominent was glycine (17%). For all essential amino acids, except for valine, the amino acid score exceeds 100%. In humans, consumption of around 20 g of the hydrolysate covers the daily physiological requirement of magnesium. **Practical significance:** the obtained data on the amino acid profile and mineral composition of the barrel jellyfish *Rh. pulmo* hydrolysate provide the basis for its consideration as a promising ingredient for the functional nutrition products.

Keywords: jellyfish *Rhizostoma pulmo*, hydrolysis, alcalase, amino nitrogen, degree of hydrolysis.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время во всем мире переработка медуз рассматривается как один из способов, который позволит снизить их неблагоприятное воздействие в области туризма, рыболовстве и аквакультуре. При этом такие традиционные способы обработки как посол с использованием поваренной соли, вяление, копчение, консервирование не могут быть применены к медузам из-за их высокой обводненности. Для изготовления медуз в солёном, солёно-сушёном виде в странах Восточной и Юго-Восточной Азии обработка медуз осуществляется с использованием алюмокалиевых квасцов [Shin et al., 2020], которые в России и странах ЕАЭС запрещено использовать для рыбной продукции в соответствии с требованиями ТР ТС 029/2012. В связи с этим для стабилизации текстуры медуз предлагается проводить посол в солевом растворе, приготовленном с использованием экстрактов дубильных веществ из растительного сырья [Есина и др., 2023]. Однако представители бизнеса не спешат в освоении нового сырьевого ресурса, опасаясь рисков при добыче медузы, который имеет сезонный характер, а также при реализации продукции, поскольку отечественные потребители ещё не готовы включить медуз в рацион питания в качестве одного из основных продуктов [Штенина и др., 2023].

Калорийность медуз составляет 1,0–4,9 ккал/г сухого вещества (с. в.), отмечается низкое содержание жира – 0,4–1,8 г/100 г с. в., содержание белка от 20,0 до 53,9 г/100 г с. в., минеральных веществ – 15,9–57,2 г/100 г с. в. [Khong et al., 2016]. Учитывая достаточно высокое содержание белка, другим способом переработки медуз может быть их модификация в результате гидролиза белка, что позволит изменить негативное отношение к медузам, поскольку гидролизат не будет ассоциироваться с желеподобной субстанцией. Исследования в направлении гидролиза медуз являются актуальными, т. к. это наиболее эффективный способ извлечения ценных питательных веществ. Образующиеся при гидролизе пептиды и аминокислоты могут усваиваться пищеварительной системой быстрее, чем белки, что особенно важно для тех, кому показано парентеральное питание или кому необходимо быстрое поступление питательных веществ при физических нагрузках [Di Pasquale, 2007].

Гидролизу подвергают свежую, посоленную по азиатской технологии (после отмачивания), высушенную в конвекционных сушилках или методом лиофильной сушки медузу [Urata et al., 2022; Emreker et al., 2021]. Рядом исследований предлагается перво-

начально выделить коллаген или желатин и только потом подвергать его гидролизу [Chiarelli et al., 2023].

Ферментативный гидролиз – наиболее распространённый метод получения гидролизатов, при котором в отличие от кислотного гидролиза не наблюдается разрушения незаменимой аминокислоты триптофана [Chinnakkannu et al., 2023], а в отличие от щелочного – не происходит рацемизация L-аминокислот и образование D-аминокислот, которые не усваиваются человеком. К тому же при щелочном гидролизе отмечается расщепление дисульфидных связей, потеря цистеина, серина и треонина [Kristinsson, Rasco, 2000].

Целью исследования являлась разработка технологических параметров ферментативного гидролиза белка азово-черноморской медузы *Rhizostoma pulmo* (Macri, 1778), исследование аминокислотного и минерального состава полученного продукта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследований использовали мороженую медузу, заготовленную в сентябре 2022 г. Температура хранения медузы составляла минус 18 °С. Медузу перед гидролизом оттаивали при температуре 4±2 °С до температуры в теле медузы 0–2 °С. Выход медузы после размораживания составлял 14,1–16,7%. Содержание белка в размороженной медузе было на уровне 1,34±0,09%, воды – 97,51±0,21%; минеральных веществ – 1,23±0,10%; жира – 0,06±0,01%.

При выборе ферментного препарата для модификации белка медузы *Rh. pulmo*, который на 40% представлен коллагеном [Leone et al., 2015], учитывали действие ферментных препаратов по отношению к коллагену, наличие таких ферментов на российском рынке, возможность их использования при pH, близком к сырью.

Из ферментов отечественного производства был выбран «Энзи-микс У», производимый заводом эндокринных ферментов, расположенным в пос. Ржавки Московской области. Протеолитическая активность «Энзи-микса» составляла 100 ЕД/г. Данный фермент является эндопептидазой, включает комплекс кислых аспартатных протеаз (катепсинов) и является специфичным по отношению к коллагену. Исследованиями Л.В. Антиповой с соавторами [2011] показано применение данного ферментного препарата для обработки рыбного сырья. Рабочая активность «Энзи-микса» отмечается при температуре 20–45 °С, оптимальной температурой является 35–45 °С. Рекомендуется использовать фермент при pH 4,5–6,0. Полная инактивация фермента происходит при 80–90 °С в течение 15–20 мин.

Из импортных ферментов, доступных на отечественном рынке, была выбрана алкалаза активностью

2,4 AU/г (Novozymes, Китай), получаемая при ферментации штамма *Bacillus licheniformis*. Алкалаза эффективна в высвобождении биоактивных пептидов из различных белков, в т. ч. и коллагена [Tacias-Pascasio et al., 2020]. Температура действия от 55 до 70 °С, pH 6,5–8,5. Фермент инактивируют нагреванием гидролизата при температуре 80–95 °С в течение 10–15 мин.

Перед гидролизом медуз измельчали до однородной массы. Учитывая обводненность сырья, гидролиз проводили без разведения водой гидролизуемой массы при периодическом её перемешивании. Ферменты инактивировали нагреванием при температуре 80 °С в течение 15 мин. Охлаждённый до температуры 30 °С гидролизат отстаивали при температуре 6 ± 2 °С в течение 8 ч для разделения на жидкую фракцию и плотный остаток. Концентрирование гидролизата осуществляли на ротационном испарителе Stegler R-213b до содержания сухих веществ не менее 30%.

Содержание белка, жира, воды, сухих и минеральных веществ определяли по ГОСТ 7636-85, pH измеряли с помощью потенциометрического титратора «Титрион».

Гидролиз контролировали по содержанию аминного азота (формольно-титруемого (ФТА)) – в соответствии с методом, описанным А.П. Черногорцевым [1973]. Степень гидролиза (СГ) рассчитывали, как отношение количества выделившегося аминного азота к общему азоту [Мухин и др., 2001].

Об изменении концентрации пептидов в гидролизате судили по оптической плотности в УФ-области спектра при 280 нм. Для этого предварительно осаждали высокомолекулярные белковые соединения трихлоруксусной кислотой (ТХУ), добавив к 1 мл раствора гидролизата 4 мл 10%-ного раствора ТХУ (соот-

ношение гидролизат: ТХУ равнялось 1:4). Образовавшийся осадок отделяли фильтрованием. На спектрофотометре ТМ ECOVIEW (ЭКОВью) регистрировали оптическую плотность фильтрата при 280 нм. Из полученного значения вычитали оптическую плотность «фона» при 320 нм [Мухин и др., 2002].

Исследования аминокислотного состава проводили с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель 205М», минерального – согласно Р.4.1.1672–03; ГОСТ 30178-96. Аминокислотный скор определяли как отношение определённой незаменимой аминокислоты к такой же аминокислоте в белке, принятом по рекомендациям ФАО/ВОЗ в качестве идеального.

Все эксперименты проводили в трёх и более повторностях. Статистическую обработку результатов измерений проводили в программе Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для установления оптимальных параметров гидролиза с «Энзи-миксом» и алкалазой за постоянные величины были приняты рекомендуемые для указанных ферментов значения температуры и pH:

– для «Энзи-микса»: температура 40 ± 2 °С, pH=5,0 (указанное значение pH обеспечивали добавлением уксусной кислоты);

– для алкалазы: температура 55 ± 2 °С, pH=6,4 (соответствует pH медузы).

К переменным величинам отнесли количество фермента к массе субстрата и продолжительность гидролиза.

Изменение оптической плотности в УФ-области спектра при 280 нм ТХУ-неосаждаемых белковых компонентов, содержащихся в гидролизатах, полу-

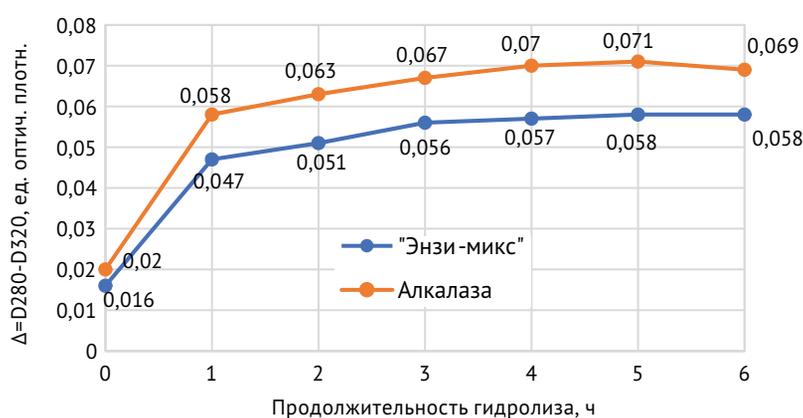


Рис. 1. Изменение оптической плотности гидролизата в зависимости от продолжительности гидролиза (параметры: количество «Энзи-микса» – 0,5% от массы медузы, $t=40\pm 2$ °С, продолжительность 6 ч, pH=5,0; количество алкалазы – 0,5%, $t=55\pm 2$ °С, продолжительность 6 ч, pH=6,4)

Fig. 1. Change in the optical density of the hydrolysate depending on the hydrolysis duration (parameters: «Enzy-mix» amount is 0.5% of the jellyfish weight, $t=40\pm 2$ °С, duration is 6 h, pH=5.0; alcalase amount is 0.5%, $t=55\pm 2$ °С, duration is 6 h, pH=6.4)

ченных в течение 6 ч с использованием «Энзи-микса» и алкалазы в количестве 0,5%, показано на рис. 1.

Алкалаза показала наибольшую эффективность в накоплении ТХУ-неосаждаемых белковых компонентов. После первого часа гидролиза для алкалазы значение оптической плотности составляло 0,058 ед. Для «Энзи-микса» продолжительность гидролиза в течение 3 ч была оценена как рациональная (значение оптической плотности составляло 0,056). В связи с этим уточнение количества ферментов проводили по зависимости накопления ФТА при гидролизе с использованием «Энзи-микса» в течение 3 ч (рис. 2), алкалазы – в течение 1 ч (рис. 3).

При гидролизе в течение 3 ч с применением «Энзи-микса» (рис. 2) стабилизация в накоплении ФТА наблюдалась при использовании 1,5% фермента от массы гидролизуемой медузы (27,4 мг%). Увеличение количества фермента до 1,8%, 2,0% и 2,2% привело к незначительным колебаниям ФТА (27,5, 26,9

и 27,8 мг%). Таким образом, по результатам эксперимента рациональное количество «Энзи-микса» составило 1,5% от массы медузы.

Для алкалазы (рис. 3) в течение одного часа гидролиза наблюдался стремительный рост ФТА с 6,3 мг% в контрольном образце (размороженной медузе без добавления алкалазы) до 76,9 мг% при добавлении 0,2% алкалазы. Максимальное накопление ФТА было установлено при гидролизе с 1% алкалазы (104,5 мг%). При дальнейшем увеличении количества алкалазы до 1,5% отмечалась незначительное снижение в накоплении ФТА.

Для уточнения оптимальной продолжительности гидролиза был проведён эксперимент с использованием 1,5% «Энзи-микса», за накоплением ФТА наблюдали в течение 5 ч (рис. 4).

Максимальное накопление ФТА наблюдалось при использовании 1,5% «Энзи-микса» после 5 ч гидролиза (26,8 мг%) по сравнению с использованием 0,5%

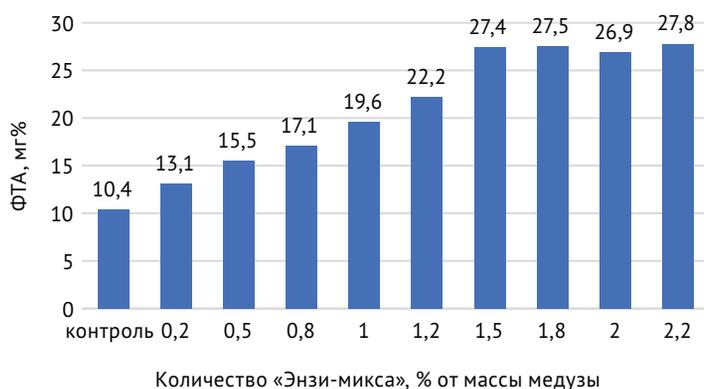


Рис. 2. Динамика накопления ФТА в зависимости от количества «Энзи-микса» (параметры: $t=40\pm 2$ °C, продолжительность 3 ч, pH=5,0)

Fig. 2. Dynamics of the accumulation of formol titrated nitrogen in relation to «Enzy-mix» amount (parameters: $t=40\pm 2$ °C, duration 3 h, pH=5.0)

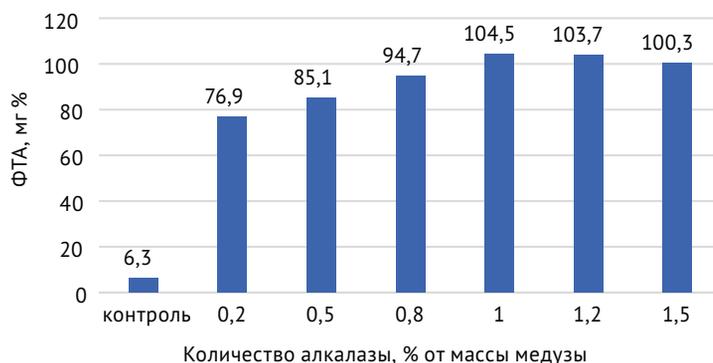


Рис. 3. Динамика накопления ФТА в зависимости от количества алкалазы (параметры: $t=55\pm 2$ °C, продолжительность 1 ч, pH=6,4)

Fig. 3. Dynamics of the accumulation of formol titrated nitrogen in relation to alkalase amount (parameters: $t=55\pm 2$ °C, duration 1 h, pH=6.4)

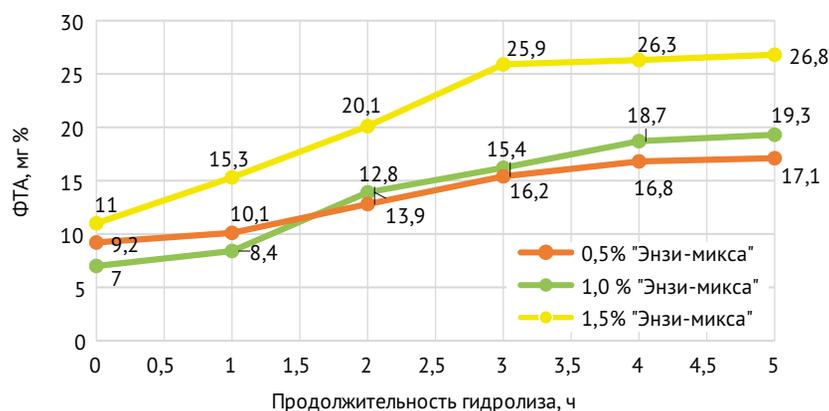


Рис. 4. Динамика накопления ФТА в зависимости от продолжительности гидролиза с «Энзи-микса» (параметры: количество – 0,5%, 1% и 1,5% от массы медузы; $t=40\pm 2$ °C, pH=5,0)

Fig.4. Dynamics of the accumulation of formol titrated nitrogen and in relation to the hydrolysis duration (parameters: amount of "Enzy-mix" (equal to 0.5%, 1% and 1.5% of the jellyfish weight; $t=40\pm 2$ °C, pH=5.0)

и 1% фермента. Из-за незначительной разницы данных ФТА, полученных при 3 и 5 ч процесса, рациональным является проведение гидролиза с использованием 1,5% «Энзи-микса» в течение 3 ч. Степень гидролиза полученного гидролизата составляла 9,5%, что характеризует его, как гипоаллергенный продукт с низкой степенью гидролиза [Neklyudov et al., 2000].

Динамика накопления ФТА при гидролизе с применением алкалазы в количестве 0,5, 0,8 и 1% фермента от массы субстрата в зависимости от продолжительности процесса представлена на рис. 5.

На основании данных по накоплению ФТА (рис. 5) с учётом выбора экономически целесообразной продолжительности гидролиза оптимальным является гидролиз в течение 1 ч с использованием 1% алкалазы (110,9 мг% после 1 ч гидролиза).

Если сравнивать действие алкалазы и «Энзи-микса», то для гидролиза медузы рекомендуется использовать алкалазу, которая не требует изменения pH субстрата, более эффективна по накоплению ФТА за короткий период гидролиза (продолжительность процесса для алкалазы составляет 1 ч, для «Энзи-микса» – 3 ч). При этом алкалаза обеспечивает значения ФТА через 1 ч гидролиза выше значений ФТА для «Энзи-микса» через 3 ч гидролиза (110,9 мг% для алкалазы и 25,9 мг% для «Энзи-микса»). Степень гидролиза при обработке мороженой медузы 1% алкалазы в течение 1 ч при температуре 55 ± 2 °C составляла 38,5%.

В дальнейшем для характеристики гидролизата использовали продукт, полученный при гидролизе с алкалазой, который концентрировали до содержания сухих веществ не менее 30%. Гидролизат был

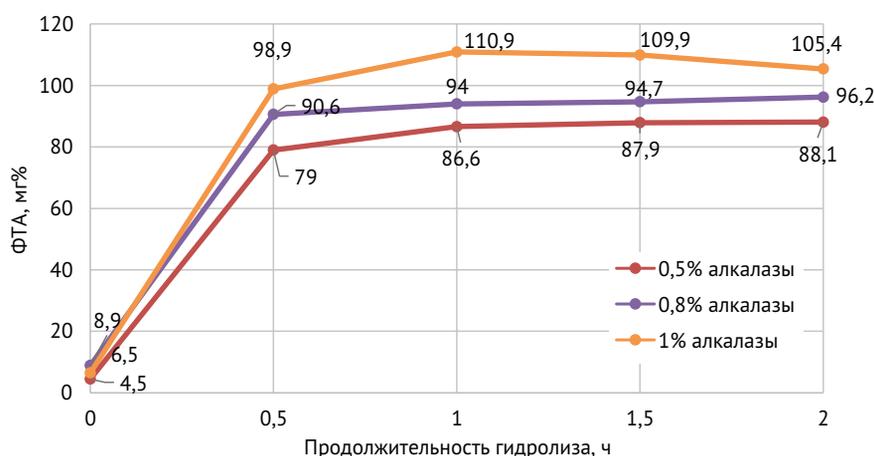


Рис. 5. Динамика накопления ФТА в зависимости от продолжительности гидролиза с алкалазой (параметры: $t=55\pm 2$ °C, количество фермента 0,5%, 0,8% и 1% от массы медузы, pH=6,4)

Fig. 5. Dynamics of the accumulation of formol titrated nitrogen in relation to the duration of hydrolysis involving alkalase (parameters: $t=55\pm 2$ °C, enzyme amount 0.5%, 0.8% and 1% of the jellyfish weight, pH=6.4)

темно-бежевого цвета, с лёгким запахом и вкусом, свойственным данному виду продукта, без наличия горечи. Содержание белка в гидролизате составляло $15,1 \pm 0,59\%$ (см. табл. 1).

Таблица 1. Химический состав и энергетическая ценность концентрированного гидролизата

Table 1. Chemical composition and caloric value of the concentrated hydrolysate

Наименование показателя	Значения
Протеин, %	$15,1 \pm 0,59$
Сухие вещества, %	$32,5 \pm 1,42$
Минеральные вещества, %	$10,9 \pm 1,65$
Липиды, %	$0,14 \pm 0,03$
Энергетическая ценность, ккал/100 г	$61,1 \pm 3,11$

Полученный гидролизат можно рассматривать, как низкокалорийный продукт (см. табл. 1), являющийся источником аминокислот (см. табл. 2), в котором незаменимые аминокислоты составляют 48%, причём, 15% приходится на лейцин и изолейцин, широко используемые в напитках для спортсменов, поскольку способствуют восстановлению организма после тренировок [Трушина и др., 2019]. Лимитирующей аминокислотой является валин. Из заменимых аминокислот следует выделить глицин – тормозной медиатор центральной нервной системы [Данковцев, 2020], на долю которого приходится 17%.

Гидролизат является источником таких минеральных элементов, как магний, кальций и марганец (см. табл. 3).

Употребление 20 г гидролизата позволяет восполнить суточную физиологическую потребность в маг-

Таблица 2. Аминокислотные профили гидролизата (содержание белка 15,0%, содержание сухих веществ 30,0%)

Table 2. Amino acid profiles of the hydrolysate (protein content 15.0%, dry matter content 30.0%)

Наименование аминокислоты	Содержание аминокислоты			Аминокислотный скор, %
	г/100 г гидролизата	г/100 г белка в гидролизате	г/100 г белка по ФАО/ВОЗ [Report of an FAO, 2013]	
Валин (Val)	$0,50 \pm 0,20$	3,33	4,0	83,33
Лейцин+изолейцин (Leu+Ile)	$2,15 \pm 0,51$	14,33	9,1	157,47
Лизин (Lyz)	$1,52 \pm 0,52$	10,13	4,8	211,11
Метионин+цистин (Met+Cys)	$1,00 \pm 0,30$	6,67	2,3	289,86
Треонин (Thr)	$0,72 \pm 0,29$	4,80	2,5	192,00
Фенилаланин+тирозин (Phe+Tyr)	$0,85 \pm 0,25$	5,67	4,1	138,21
Триптофан (Tri)	не определялся	–	0,66	–
Аргинин (Arg)	$1,26 \pm 0,50$	8,40	–	–
Гистидин (His)	$0,2 \pm 0,01$	1,33	–	–
Пролин (Pro)	$1,28 \pm 0,33$	8,53	–	–
Серин (Ser)	$0,81 \pm 0,21$	5,40	–	–
Аланин (Ala)	$1,27 \pm 0,33$	8,47	–	–
Глицин (Gly)	$2,43 \pm 0,83$	16,20	–	–

Таблица 3. Минеральный состав гидролизата

Table 3. Mineral composition of the hydrolysate

Наименование элемента	Содержание элемента, мг/100 г гидролизата*	Физиологическая потребность в элементе для взрослых, мг/сут., по МР 2.3.1.0253–21	Количество гидролизата, необходимое для удовлетворения физиологической потребности, г	Количество гидролизата, необходимое для удовлетворения 15% физиологической потребности, г
Калий	1380	3500	253,6	38,0
Кальций	1198	1000	83,5	12,5
Магний	2122	420	19,8	3,0
Железо	1,7	10 (для мужчин)	588,0	88,0
Марганец	2,1	2	105,0	15,7

* погрешность 10%

ЛИТЕРАТУРА

нии, который способствует поддержанию нормального состояния костей и недостаток которого приводит к гипомagneмии, повышению риска развития гипертензии, болезней сердца в соответствии с МР 2.3.1.0253–21.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые проведены исследования по гидролизу азово-черноморской медузы *R. pulmo* после её размораживания с использованием ферментных препаратов «Энзи-микс» и алкалазы. Сравнение данных по накоплению ФТА в зависимости от количества ферментного препарата и продолжительности гидролиза показали, что наиболее эффективным ферментом является алкалаза. При использовании 1% алкалазы значения ФТА через 1 ч гидролиза превышают значения ФТА при использовании «Энзи-микса» в количестве 1,5% после 3 ч гидролиза (110,9 мг% для алкалазы и 25,9 мг% для «Энзи-микса»). Установлен рациональный режим гидролиза медузы: количество алкалазы 1% от массы субстрата, продолжительность гидролиза 1 ч при температуре 55 ± 2 °C. В полученном гидролизате с содержанием сухих веществ 30% и более отмечается $15,1 \pm 0,59\%$ белка, в котором 15% приходится на незаменимые аминокислоты лейцин и изолейцин, из заменимых аминокислот следует выделить глицин (17%), что позволяет рассматривать полученный гидролизат в качестве ингредиента, при изготовлении функциональных продуктов типа паст с использованием растительного сырья. Также гидролизат является источником минеральных элементов, например, употребление 20 г гидролизата позволит восполнить суточную физиологическую потребность в магнии.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания 2023 г. ФГБНУ «ВНИРО» по подтеме 19.1 Разработка технологий биотрансформации водных биоресурсов как основы для создания функциональной, специализированной, лечебно-профилактической и микробиологической продукции.

- Антипова Л.В., Хаустова Г.А., До Ле Хью Нам, Дворянинова О.П. 2011. Ферментные препараты для биомодификации белковых систем нетрадиционного сырья рыбной промышленности // Пищевая промышленность. № 12. С. 29–31.
- Данковцев Р.Ю. 2020. Современные представления о физиологической и патофизиологической роли аминокислоты глицин // Молодёжный инновационный вестник. Т. 9. № 52. С. 324–326.
- Есина Л.М., Белякова И.А., Ушакова З.Е., Штенина Д.В. 2023. Разработка технологии солёной продукции из медузы *Rhizostoma pulmo* (Macri, 1778) // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 6. № 2. С. 107–120. DOI: 10.47921/2619-1024_2023_6_2_107.
- Мухин В.А., Новиков В.Ю. 2001. Ферментативные белковые гидролизаты тканей морских гидробионтов: получение, свойства и практическое использование. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 97 с.
- Мухин В.А., Новиков В.Ю. 2002. Протеолиз и протеолитические ферменты в тканях морских беспозвоночных. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 118 с.
- Трушина Э.Н., Выборнов В.Д., Ригер Н.А., Мустафина О.К., Солнцева Т.Н., Тимонин А.Н., Зилова И.С., Раджабадиев Р.М. 2019. Эффективность использования аминокислот с разветвленной цепью (BCAA) в питании спортсменов-единоборцев // Вопросы питания. Т. 88, № 4. С. 48–56. DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10041.
- Черногорцев А.П. 1973. Переработка мелкой рыбы на основе ферментирования сырья. М.: Пищ. пром-ть. 90 с.
- Штенина Д.В., Есина Л.М., Ушакова З.Е., Белякова И.А. 2023. Медузы. За или против? // Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития: I Международная научно-практическая конференция, Москва, 28–29 марта 2023 года. М.: Изд-во ВНИРО. С. 317–321.
- Chiarelli P.G., Suh J.H., Pegg R.B., Chen J., Solval K.M. 2023. The emergence of jellyfish collagen: A comprehensive review on research progress, industrial applications, and future opportunities // Trends in Food Science & Technology. V. 141. DOI: 10.1016/j.tifs.2023.104206.
- Chinnakkannu S., Nazir M.I., Gopai S. 2023. Fish protein hydrolysates in aquafeed // Feed and Additive Magazine. Iss. 24. P. 62–67.
- Di Pasquale M.G. 2007. Amino acids and proteins for the athlete: The anabolic edge (2nd ed.) // CRC Press. DOI: 10.1201/9781420043815.
- Emrerk T., Rungsardthong V., Vatanyoopaisar S., Thumthanaruk B., Tamaki Y., Kuraya E. 2021. Processed flavors derived from combined bromelain hydrolyzed jellyfish protein hydrolysate, reducing sugars and arginine // Science, Engineering and Health Studies. V. 15. DOI: 10.14456/sehs.2021.4.
- Kristinsson H.G., Rasco B.A. 2000. Fish Protein Hydrolysates: Production, Biochemical, and Functional Properties // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. V. 40:1. P. 43–81. DOI: 10.1080/10408690091189266.
- Khong N.M.H., Yusoff F.M., Jamilah B., Basri M., Maznah I., Chan K.W., Nishikawa J. 2016. Nutritional composition and total collagen content of three commercially important

- edible jellyfish // Food Chemistry. V. 196. P. 953–960. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.09.094.
- Leone A., Lecci R.M., Durante M., Meli F., Piraino S. 2015. The bright side of gelatinous blooms: Nutraceutical value and antioxidant properties of three Mediterranean jellyfish (Scyphozoa) // Marine Drugs. V. 13. Iss. 8. P. 4654–4681. DOI: 10.3390/md13084654.
- Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. 2000. Production and purification of protein hydrolysates (review) // Appl. Biochem. Microbiol. Vol. 36. P. 317–324. DOI: 10.1007/BF02738038.
- Report of an FAO Expert Consultation. 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition // FAO Food and Nutrition Paper. No. 92. 79 p.
- Shin C., James T.C., Azmi M.M. 2020. The technique of edible jellyfish processing in Sarawak, Malaysia // Int. J. Adv. Res. Eng. Technol. V. 11. P. 315–322.
- Tacias-Pascacio V.G., Morellon-Sterling R., Siar E.-H., Tavano O., Berenguer-Murcia A., Fernandez-Lafuente R. 2020. Use of alcalase in the production of bioactive peptides: A review // International Journal of Biological Macromolecules. V. 16. P. 2143–2196. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.060.
- Upata M., Siriwoharn T., Makkhun S., Yarnpakde S., Regenstein J., Wangtueai S. 2022. Tyrosinase inhibitory and antioxidant activity of enzymatic protein hydrolysate from jellyfish (*Lobonema smithii*) // Foods. V. 11. P. 615. DOI: 10.3390/foods11040615.
- Shtenina D.V., Esina L.M., Ushakova Z.E., Belyakova I.A. 2023. Jellyfish. Pros and cons // Fisheries industry in Russia: problems and prospects for development. Proc. of the 1st Intern. Scient. and Pract. Conf. (Moscow, 28–29 March, 2023). Moscow: VNIRO Publish. P. 317–321. (In Russ.).
- Chiarelli P.G., Suh J.H., Pegg R.B., Chen J., Solval K.M. 2023. The emergence of jellyfish collagen: A comprehensive review on research progress, industrial applications, and future opportunities // Trends in Food Science & Technology. V. 141. DOI: 10.1016/j.tifs.2023.104206.
- Chinnakkannu S., Nazir M.I., Gopai S. 2023. Fish protein hydrolysates in aquafeed // Feed and Additive Magazine. Iss. 24. P. 62–67.
- Di Pasquale M.G. 2007. Amino acids and proteins for the athlete: The anabolic edge (2nd ed.) // CRC Press. DOI: 10.1201/9781420043815.
- Emrer T., Rungsardthong V., Vatanyoopaisar S., Thumthanaruk B., Tamaki Y., Kuraya E. 2021. Processed flavors derived from combined bromelain hydrolyzed jellyfish protein hydrolysate, reducing sugars and arginine // Science, Engineering and Health Studies. V. 15. DOI: 10.14456/sehs.2021.4.
- Kristinsson H.G., Rasco B.A. 2000. Fish Protein Hydrolysates: Production, Biochemical, and Functional Properties // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. V. 40:1. P. 43–81. DOI: 10.1080/10408690091189266.
- Khong N.M.H., Yusoff F.Md., Jamilah B., Basri M., Maznah I., Chan K.W., Nishikawa J. 2016. Nutritional composition and total collagen content of three commercially important edible jellyfish // Food Chemistry. V. 196. P. 953–960. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.09.094.
- Leone A., Lecci R.M., Durante M., Meli F., Piraino S. 2015. The bright side of gelatinous blooms: Nutraceutical value and antioxidant properties of three Mediterranean jellyfish (Scyphozoa) // Marine Drugs. V. 13. Iss. 8. P. 4654–4681. DOI: 10.3390/md13084654.
- Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. 2000. Production and purification of protein hydrolysates (review) // Appl. Biochem. Microbiol. Vol. 36. P. 317–324. DOI: 10.1007/BF02738038.
- Report of an FAO Expert Consultation. 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition // FAO Food and Nutrition Paper. No. 92. 79 p.
- Shin C., James T.C., Azmi M.M. 2020. The technique of edible jellyfish processing in Sarawak, Malaysia // Int. J. Adv. Res. Eng. Technol. V. 11. P. 315–322.
- Tacias-Pascacio V.G., Morellon-Sterling R., Siar E.-H., Tavano O., Berenguer-Murcia A., Fernandez-Lafuente R. 2020. Use of alcalase in the production of bioactive peptides: A review // International Journal of Biological Macromolecules. V. 16. P. 2143–2196. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.060.
- Upata M., Siriwoharn T., Makkhun S., Yarnpakde S., Regenstein J., Wangtueai S. 2022. Tyrosinase inhibitory and antioxidant activity of enzymatic protein hydrolysate from jellyfish (*Lobonema smithii*) // Foods. V. 11. P. 615. DOI: 10.3390/foods11040615.
- Antipova L.V., Haustova G.A., Do Le Hyu Nam, Dvoryaninova O.P. 2011. Enzymatic agents used to bio-modify protein systems of alternative raw materials provided by fish industry // Food Industry. No. 12, pp. 29–31. (In Russ.).
- Dankovcev R.Yu. 2020. Modern understanding of the physiological and pataphysiological role of the amino acid glycine // Youth Innovation Herald. V. 9, no. S2. pp. 324–326. (In Russ.).
- Esina L.M., Belyakova I.A., Ushakova Z.E., Shtenina D.V. 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. DOI: 10.47921/2619-1024_2023_6_2_107. (In Russ.).
- Muhin V.A., Novikov V.Yu. 2001. Enzymatic protein hydrolysates of the tissues of marine aquatic living organisms. Production, properties, and practical use. Murmansk: PINRO Publish. 97 p. (In Russ.).
- Muhin V.A., Novikov V.Yu. 2002. Proteolysis and proteolytic enzymes in the tissues of marine invertebrates. Murmansk: PINRO Publish. 118 p. (In Russ.).
- Trushina E.N., Vybornov V.D., Riger N.A., Mustafina O.K., Solntseva T.N., Timonin A.N., Zilova I.S., Radzhabkadiyev R.M. 2019. The efficiency of branched chain amino acids (BCAA) in the nutrition of combat sport athletes // Problems of Nutrition. V. 88. Iss. 4. P. 48–56. DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10041. (In Russ.).
- Chernogorcev A.P. 1973. Processing of small fish on the basis of the raw materials fermentation. Moscow: Food Industry. 90 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 24.05.2024 г.
Принята после рецензии 21.08.2024 г.