

УДК 664.951.014:639.55:627.8

Исследование биопотенциала продуктов гидролиза отходов от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei*

О. Я. Мезенова*, С. В. Агафонова, Н. Ю. Романенко, Н. С. Калинина,
В. В. Волков, Й-Т. Мерзель

*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;
e-mail: mezenova@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
29.06.2023;

получена
после доработки
20.07.2023;

принята к публикации
24.07.2023

Ключевые слова:

гидролиз,
термогидролиз,
ферментализ,
креветочные отходы,
головотруда,
аминокислотный состав,
жирнокислотный состав

Актуальность исследования биопотенциала креветочных отходов и их гидролизатов обусловлена необходимостью комплексной переработки вторичного сырья гидробионтов с получением полезных продуктов. На рыбоперерабатывающем предприятии ООО "Вичюнай-Русь" (Калининградская обл.) при изготовлении пищевой продукции из креветки белоногой остается до 60 % массы отходов. Это сырье содержит ценные органические компоненты, но не перерабатывается. В работе предложена его комплексная переработка с получением гидролизатов двумя способами – высокотемпературным и ферментативным. При термогидролизе в водной среде из креветочных отходов образуются три фракции (жировая, водорастворимая и водонерастворимая). После разделения водорастворимую фракцию сублимировали, а водонерастворимую высушивали конвекционно. Изучен общий химический состав креветочных отходов и продуктов гидролиза. Показано, что водорастворимые гидролизаты являются хорошим источником протеиновых компонентов (66,6–71,6 %). В сравнительных исследованиях аминокислотного состава водорастворимых гидролизатов установлено наличие всех незаменимых аминокислот при незначительных различиях между образцами. В обоих гидролизатах преобладают аланин, аргинин, глицин, изолейцин, лизин, аспарагиновая кислота, тирозин, валин (3,3–6,4 г/100 г белка). По показателю формольно-титруемого азота в ферментализатах алкалаза более активно ферментирует креветочные отходы, чем коллагеназа. Проанализирован жирнокислотный состав выделенных при термогидролизе липидов. Креветочный жир отличается повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот (44,7 %) при относительно низком содержании кислот семейства омега-3 (10,7 %) и высоким содержанием омега-6 (33,9 %) при их соотношении 1 : 3,2, близком к физиологически рекомендуемому. Исследованы органолептические характеристики водорастворимых и водонерастворимых креветочных гидролизатов. С учетом содержания в гидролизатах ценных биологически активных компонентов рекомендовано их применение в качестве пищевых и кормовых добавок – источников активных пептидов, высокомолекулярных белков, минеральных веществ и хитиновых компонентов.

Для цитирования

Мезенова О. Я. и др. Исследование биопотенциала продуктов гидролиза отходов от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei*. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 223–231. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-223-231>.

Investigation of the biopotential of products of hydrolysis of waste from cutting the white-legged shrimp *Penaeus vannamei*

Olga Ya. Mezenova*, Svetlana V. Agafonova, Natalya Yu. Romanenko,
Natalya S. Kalinina, Vladimir V. Volkov, Jörg-Thomas Merzel

*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia;
e-mail: mezenova@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

Article info

Received 29.06.2023;

received
in revised form
20.07.2023;

accepted 24.07.2023

Key words:

hydrolysis,
thermo-hydrolysis,
fermentolysis,
shrimp waste,
cephalothorax,
amino acid composition,
fatty acid composition

Abstract

The relevance of studying the biopotential of shrimp waste and their hydrolysates is due to the need for complex processing of secondary raw materials of aquatic organisms to obtain useful products. At the fish processing plant Vichyunai-Rus LLC when manufacturing food products from white-legged shrimp, up to 60 % of the mass of waste (cephalothorax, shell) remains. This raw material contains valuable organic components, but is not processed. The paper proposes its complex processing with the production of hydrolysates in two ways – high-temperature and enzymatic. During thermohydrolysis in the aquatic environment, three fractions are formed from shrimp waste (fatty, water-soluble and water-insoluble). After separation, the water-soluble fraction was sublimated, and the water-insoluble fraction was dried by convection. The fat fraction was further purified by washing in warm water. The general chemical composition of shrimp waste and hydrolysis products has been studied. It has been shown that water-soluble hydrolysates are a good source of protein components (66.6–71.6 %). In comparative studies of the amino acid composition of water-soluble hydrolysates, the presence of all essential amino acids is established with minor differences between the samples. Both hydrolysates are dominated by alanine, arginine, glycine, isoleucine, lysine, aspartic acid, tyrosine, valine (3.3–6.4 g/100 g of protein). In terms of formal-titratable nitrogen in fermentolysates, alkalase ferments shrimp waste more actively than collagenase. The fatty acid composition of lipids isolated by thermohydrolysis from shrimp waste has been analyzed. Shrimp oil is characterized by a high content of polyunsaturated fatty acids (44.7 %) with a relatively low content of omega-3 family acids (10.7 %) and a high content of omega-6 (33.9 %) at a ratio of 1 : 3.2 (close to the physiologically recommended). The organoleptic characteristics of water-soluble and water-insoluble shrimp hydrolysates have been studied. Due to the content of valuable biologically active components in hydrolysates, their use as food and feed additives – sources of active peptides, high-molecular proteins, minerals and chitinous components – is recommended.

For citation

Mezenova, O. Ya. et al. 2023. Investigation of the biopotential of products of hydrolysis of waste from cutting the white-legged shrimp *Penaeus vannamei*. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 223–231. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-223-231>.

Введение

Пищевая продукция из креветок традиционно пользуется высоким спросом во всех странах мира. Ежегодно в мире вылавливают свыше 3,5 млн т креветок более 2 000 видов, вместе с тем только 35 видов являются промысловыми. В России креветка занимает второе место по вылову всех ракообразных, объем ее добычи составляет 9–12 тыс. т ежегодно, но с учетом спроса его рекомендуется нарастить до 90 тыс. т (Баканев, 2020; Ярочкин и др., 2020). Промысловое значение имеют креветка гребенчатая северная, углохвостая, черноморская, шипастая, шримс-медвежонок и др. В отечественных уловах преобладают северная креветка *Pandalus borealis*. В связи с быстрой потерей качества уловы креветок сразу замораживают после вылова или проваривают с последующим замораживанием и переработкой на береговых предприятиях. При этом идет сортировка сырья, удаляются экземпляры, потерявшие качество (раздавленные, потемневшие и др.). Суммарные выбросы креветочных уловов по причине некондиционности могут превышать 60 % (Ярочкин и др., 2020).

На рыбоперерабатывающих предприятиях при выработке пищевой продукции из мороженых креветок накапливаются многочисленные непищевые части (головагрудь, панцирь). Это сырье отличается высокой активностью ферментов, быстро портится и в основном не перерабатывается. В то же время отходы от разделки креветки содержат уникальные протеиновые и липидные комплексы, углеводы гликоген и хитин, каротиноиды (астаксантин) и минеральные вещества, являются концентратом ценных биологически активных веществ (БАВ), востребованных в кормовых и пищевых продуктах и технологиях (Максимова и др., 2017; Мезенова, 2023).

Технологий переработки некондиционного креветочного сырья и/или отходов креветок немного, в незначительных количествах из них вырабатывают креветочную муку (Ярочкин и др., 2020; Киселева и др., 2019). Специалисты Тихоокеанского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО) предложили получать из мелких креветок на основе собственного комплекса протеиназ продукты автопротеолиза, названные лизатами, которые по аминокислотному составу белков схожи с говяжьим мясом (Виговская и др., 2016). Разработана технология получения из креветочных отходов пищевой добавки для обогащения продуктов питания (Киселева и др., 2017). Но в реальной практике масштабирования этих технологий нет, и отходы не перерабатываются.

По данным Дальневосточного федерального университета (ДФУ) в отходы от разделки креветки попадает 59–76 % всей массы (головагрудь – 36–49 %, панцирь – 17–23 %, мягкие ткани, икра и ноги – 5–14 %) (Виговская и др., 2016; Киселева и др., 2017). При этом в отходах креветки *Pandalus borealis* находится 8 % мышечных волокон от общей массы креветки. Важно, что мышечная ткань удаляемых отходов превосходит по пищевой ценности брюшные мышцы, в ней содержится около 20 % белка, включающего все незаменимые аминокислоты. По содержанию магния, калия и кальция мягкие ткани отходов не уступают брюшной части (Киселева и др., 2017; Мезенова, 2023).

В Атлантическом филиале Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтланТИНРО) специалисты разработали технологию липидно-каротиноидных пищевых добавок из панциря отходов креветок с использованием ферментных препаратов, предназначенных для обогащения астаксантином различных пищевых продуктов (Самсонов и др., 2017а; 2017б).

В Калининградском государственном техническом университете на кафедре пищевой биотехнологии разработана технология глубокой переработки вторичного сырья гидробионтов (чешуи, костей и голов рыб), крабовых отходов (головагрудь, карапакс, abdomen и др.) на основе высокотемпературного гидролиза и ферментативной обработки (Способ..., 2019). Полученные добавки успешно апробированы в составе пищевых и биологически активных добавок (Мезенова и др., 2014) и комбикормов для рыб в индустриальной аквакультуре (Мезенова и др.; 2021а; 2021б; 2022а; 2022б). Представляется перспективным использование принципов данной технологии (высокотемпературной и ферментативной деструкции) (Мезенова и др., 2018) для переработки креветочных отходов с получением протеинсодержащих и липидных добавок, а также обоснование рациональных направлений их использования.

Целью исследования является получение продуктов переработки отходов от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei* с применением различных методов гидролиза (высокотемпературного и ферментативного), исследование их биопотенциала с рекомендациями по использованию.

Материалы и методы

В исследованиях использовали отходы от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei* в виде головагруды, предоставленные крупной рыбоперерабатывающей компанией ООО "Вичюнай-Русь" (г. Советск, Калининградская область).

Отходы перерабатывали двумя способами. Первый способ основан на высокотемпературном гидролитическом воздействии измельченного сырья при температуре 130 °С под давлением 1,35 бар в течение 1–3 ч. В результате глубокой деструкции сырья в органической системе происходило образование сложной дисперсии. Центрифугированием смеси при 3 900 об./мин проводили разделение дисперсии с получением трех фракций – жировой (верхней), водорастворимой (средней) и водонерастворимой (осадочной).

При радиусе ротора 12,0 см и скорости его вращения 3 900 об./мин относительное ускорение центрифуги составило 2 200 (в единицах g). Водорастворимую фракцию подвергали сублимационному высушиванию на установке Martin Christ Alpha1-2 LDplus при температуре –55 °С до содержания воды 5–6 %. Водонерастворимую фракцию обезвоживали конвекционно при 70–75 °С в сушильном шкафу ШС-80-02 до содержания воды 10–12 %. Жировую фракцию очищали от посторонних включений промыванием в теплой воде.

Ферментативный гидролиз проводили с применением протеолитических ферментов микробного происхождения – Alcalase 2,5L и коллагеназа при одинаковых дозировках 0,5 % к массе сырья. Предварительно также готовили гомогенизированную смесь измельченного сырья с теплой водой при гидромодуле 1 : 1 и выдерживали ее при температуре 50 °С (Alcalase 2,5L) и 37 (коллагеназа) в течение 6 ч при постоянном перемешивании. Последующую обработку проводили идентично.

Содержание основных органических веществ в сырье и продуктах гидролиза определяли по ГОСТ 7636-85¹ (массовые доли влаги, белка, жира, минеральных веществ, аминного или формольно-титруемого азота). Определение хитина проводили по ГОСТ 7636-85 (п.11.9). Обработку экспериментальных данных осуществляли с применением общепринятых методов математической статистики при доверительной вероятности вывода 95 % с использованием пакетов программ Microsoft Office 2010.

Аминокислотный состав протеинов определяли хроматографическим методом ВЭЖХ/УФ-ФД AT 1200 Series Infinity DAD и 1260 FLD; жирнокислотный состав липидов – методом газовой хроматографии (ГХ/МС) на AT GC/MS 5975. Данные исследования проводили в Научно-исследовательской и консультационной лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия).

Результаты и обсуждение

Общий химический состав (среднее из 5 измерений) креветочных отходов и полученных из них продуктов гидролиза приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав креветочных отходов и продуктов его термического и ферментативного гидролиза
Table 1. Chemical composition of shrimps waste and products of its thermal and enzymatic hydrolysis

| Вид сырья | Химический состав, % массы | | | | |
|--|----------------------------|-----------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| | Вода | Углеводы (в т. ч. хитин) | Жир | Минеральные вещества | Протеины |
| Креветочные отходы (головогрудь), мороженые, невареные | 75,3 ± 0,21 | 1,5 ± 0,12 | 1,2 ± 0,13 | 5,9 ± 0,21 | 18,7 ± 0,23 |
| Продукты термического гидролиза | | | | | |
| Водорастворимая добавка | 6,4 ± 0,11 | 2,1 ± 0,21 | 0,45 ± 0,11 | 19,2 ± 1,13 | 71,6 ± 1,03 |
| Водонерастворимая добавка | 11,1 ± 0,12 | 5,3 ± 0,32 | 1,5 ± 0,09 | 41,7 ± 1,68 | 30,4 ± 0,98 |
| Продукты ферментативного гидролиза с применением Alcalase 2,5L | | | | | |
| Водорастворимая добавка | 8,9 ± 0,14 | 6,2 ± 0,25 | 1,3 ± 0,11 | 14,3 ± 1,25 | 69,3 ± 1,27 |
| Водонерастворимая добавка | 12,0 ± 0,12 | 7,9 ± 0,17 | 2,4 ± 0,13 | 39,2 ± 1,12 | 38,5 ± 1,12 |
| Продукты ферментативного гидролиза с применением коллагеназы | | | | | |
| Водорастворимая добавка | 9,7 ± 0,15 | 6,5 ± 0,26 | 1,4 ± 0,16 | 15,8 ± 1,09 | 66,6 ± 1,76 |
| Водонерастворимая добавка | 12,9 ± 0,16 | 6,7 ± 0,18 | 2,4 ± 0,22 | 41,1 ± 1,22 | 36,9 ± 1,23 |

Из данных табл. 1 следует, что исследованное сырье содержит большое количество белка (18,7 %) и минеральных веществ (5,9 %) при невысокой жирности (1,2 %), при этом в нем присутствуют углеводы – в форме гликогена и хитина, входящие в состав абдомена и панциря креветки (1,45 %). Полученные данные позволяют считать данное сырье перспективным для получения гидролизатов и соответствующих добавок на их основе (Ярочкин и др., 2020; Максимова и др., 2017; Мезенова, 2023; Киселева и др., 2019; Виговская и др., 2016; Киселева и др., 2017).

При переработке его гидролизным методом с последующим фракционированием и сушкой образующихся фракций в полученных продуктах (водорастворимые добавки) содержание протеинов, соответственно, увеличивается до 71,6 % (при термогидролизе) и 66,6–69,3 % (при ферментализе), уровень минерализации во всех случаях – высокий (14,3–19,2 %). В состав образующихся добавок также входят углеводно-хитиновые композиции (2,1–6,5 %) и небольшое количество липидов (0,45–1,4 %).

Менее богаты протеиновыми компонентами образующиеся при гидролизе водонерастворимые добавки, при этом термогидролизный способ позволяет получать осадочные фракции с меньшим содержанием

¹ ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. М., 2010.

белка (30,4 %), чем ферментативный гидролиз (36,9–38,5 %). Данные продукты также характеризуются высоким содержанием минеральных веществ (39,2–41,7 %) и углеводно-хитиновых компонентов (5,3–7,7 %).

Об эффективности ферментативной обработки судили по содержанию сухих веществ и накоплению низкомолекулярного аминного азота (формольно-титруемый азот – ФТА) в водорастворимых гидролизатах (табл. 2). Видно, что для получения более глубокого уровня гидролиза протеинов сырья рациональнее применять фермент Alcalase 2,5L, так как показатель ФТА (501,7 мг/100 г) в 1,4 раза превышает соответствующее значение количества аминного азота в гидролизате, полученном с применением коллагеназы (362,0 мг/100 г).

Таблица 2. Результаты оценки глубины ферментализации креветочных отходов разными ферментами
Table 2. Results of assessing the depth of fermentolysis of shrimps waste by different enzymes

| Вид ферментного препарата | Количество ферментного препарата, % к массе сырья | Продолжительность гидролиза, ч | Температура гидролиза, °С | Масса водорастворимого гидролизата, г | Масса водонерастворимого плотного остатка, г | Содержание сухих веществ в гидролизате, % | Значение ФТА в гидролизате, мг/100 г |
|---------------------------|---|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| Alcalase 2,5L | 0,5 | 2 | 55 | 201,5 | 98,5 | 8,8 | 501,7 |
| Коллагеназа | 0,5 | 2 | 37 | 194,5 | 105,5 | 8,3 | 362,0 |

О биологической ценности водорастворимых фракций креветочных гидролизатов, полученных различными способами, судили по аминокислотному составу протеинов (табл. 3).

Таблица 3. Аминокислотный состав водорастворимых гидролизатов, полученных высокотемпературным термолизом и ферментализацией креветочных отходов различными ферментами

Table 3. Amino acid composition of water-soluble hydrolysates obtained by high-temperature thermolysis and fermentolysis of shrimp waste by various enzymes

| № п/п | Аминокислота | Содержание в гидролизате, г/100 г, полученном | | |
|-------|-----------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|
| | | высокотемпературным термолизом | ферментализацией с коллагеназой | ферментализацией с Alcalase 2,5L |
| 1 | Аланин | 6,4 | 5,8 | 5,7 |
| 2 | Аргинин | 5,4 | 6,6 | 6,5 |
| 3 | Аспарагин | 0,3 | 2,5 | 2,6 |
| 4 | Аспарагиновая кислота | 3,2 | 4,0 | 4,6 |
| 5 | Карнозин | < 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 6 | Цитрулин | 0,1 | – | 0,3 |
| 7 | Цистин | < 0,1 | 0,3 | 1,9 |
| 8 | Глутамин | < 0,1 | 2,6 | 4,3 |
| 9 | Глутаминовая кислота | 2,5 | 5,3 | 4,8 |
| 10 | Глицин | 5,7 | 4,3 | 4,1 |
| 11 | Гистидин | 0,8 | 1,7 | 12,0 |
| 12 | Гидроксипролин | < 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 13 | Изолейцин | 4,3 | 4,3 | 4,8 |
| 14 | Лейцин | 4,0 | 3,9 | 2,7 |
| 15 | Лизин | 4,5 | 6,1 | 5,8 |
| 16 | Метионин | 2,0 | 2,4 | 2,3 |
| 17 | Орнитин | 0,1 | 0,7 | 0,4 |
| 18 | Фенилаланин | 3,1 | 4,3 | 4,1 |
| 19 | Пролин | 2,7 | 3,4 | 2,9 |
| 20 | Серин | 2,8 | 2,5 | 2,3 |
| 21 | Таурин | 5,3 | 1,5 | 1,6 |
| 22 | Треонин | 2,4 | 3,0 | 3,0 |
| 23 | Триптофан | 0,4 | 0,9 | 0,9 |
| 24 | Тирозин | 3,3 | 4,2 | 4,1 |
| 25 | Валин | 3,7 | 3,7 | 3,6 |

Анализ полученных данных (табл. 3) показывает близость аминокислотного состава гидролизатов различных способов получения по количественному и качественному составу аминокислот, при этом во всех образцах присутствуют практически все незаменимые аминокислоты, в том числе ценный лизин (4,5–6,1 г/100 г) при незначительном содержании триптофана (0,4–0,9 г/100 г). Преобладают аминокислоты аланин, аргинин, глицин, изолейцин, лизин, аспарагиновая кислота, тирозин, валин, причем их содержание установлено примерно на одинаковом уровне (3,3–6,4 г/100 г белка). Повышенное количество глицина (4,1–5,7 г/100 г) и пролина (1,8–2,7 г/100 г) свидетельствует о присутствии в сырье коллагеновых тканей, в составе которых преобладают данные аминокислоты. Установлено минимальное содержание гидроксипролина (0,1 г/100 г и менее), характерного для рыбного коллагена, что свидетельствует о разном строении коллагеновых белков рыб и креветочного сырья.

При исследовании биопотенциала креветочного жира, выделенного при термогидролизе сырья, следует отметить его специфические органолептические характеристики. Жир имел характерный "креветочный" запах, без порочащих признаков и неприятных оттенков, розовато-оранжевый цвет, был непрозрачным. Анализ жирно-кислотного состава жира показал его высокую биологическую ценность по содержанию эссенциальных высоконепредельных жирных кислот (табл. 4).

Таблица 4. Жирнокислотный состав жира, выделенного из креветочных отходов
 Table 4. Fatty acid composition of fat isolated from shrimp waste

| № п/п | Жирная кислота | Содержание в креветочном жире, % массы жира |
|-------|-------------------------------------|---|
| 1 | 14:0 Миристиновая | 1,1 |
| 2 | 15:0 Пентадекановая | 0,5 |
| 3 | 16:0 Пальмитиновая | 17,8 |
| 4 | 16:1 n7 Пальмитолеиновая | 2,7 |
| 5 | 17:0 Маргариновая | 0,9 |
| 6 | 17:1 Маргаринолеиновая | 0,5 |
| 7 | 18:0 Стеариновая | 3,4 |
| 8 | cis 18:1 ω9 tr Элаидиновая | – |
| 9 | cis 18:1 ω9 Олеиновая | 21,9 |
| 10 | cis 18:1 ω7 Вакценовая | 3,5 |
| 11 | tr 18:2 ω6 Октадекадиеновая | – |
| 12 | cis 18:2 ω6 Линолевая | 28,5 |
| 13 | cis 18:3 ω6 Гамма-линоленовая | 1,2 |
| 14 | cis 20:0 Арахидиновая | 0,3 |
| 15 | cis 18:3 ω3 Альфа-линоленовая | 2,3 |
| 16 | cis 20:1 ω9 Гондоиновая | 1,5 |
| 17 | cis 20:2 ω6 Эйкозодиеновая | 2,8 |
| 18 | cis 20:3 ω3 Эйкозатриеновая | 1,1 |
| 19 | cis 22:0 Бегеновая | 0,5 |
| 20 | cis 20:4 ω6 Арахидоновая | 1,4 |
| 21 | cis 20:5 ω3 Эйкозопентаеновая (ЭПК) | 3,8 |
| 22 | 24:0 Лигноцериновая | 0,2 |
| 23 | cis 24:1 ω9 Нервоновая | 0,2 |
| 24 | cis 22:5 ω3 Докозопентаеновая | 0,5 |
| 25 | cis 22:6 ω3 Докозагексаеновая (ДГК) | 3,0 |
| 26 | Сумма | 100,0 |
| 27 | Сумма НЖК | 24,7 |
| 28 | Сумма МНЖК | 30,3 |
| 29 | Сумма ПНЖК | 44,7 |
| 30 | Сумма ω6 | 33,9 |
| 31 | Сумма Trans ЖК | 0,2 |
| 32 | Сумма ω3 ЖК | 10,7 |

Из данных табл. 4 следует, что креветочный жир отличается повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК – 44,7 %) при относительно низком содержании жирных кислот (ЖК) семейства омега-3 (10,7 %) и высоком содержании ЖК омега-6 (33,9 %). Содержание насыщенных ЖК (НЖК) составляет 24,73 % (в том числе пальмитиновой 17,8 %), мононенасыщенных ЖК (МНЖК) 30,3 %, в том числе олеиновой (21,9 %). Следует отметить, что основная доля ПНЖК в креветочном жире принадлежит линолевой жирной кислоте (28,5 %). По соотношению ЖК омега-6 к омега-3, как 3,2 : 1 данный

жир близок к рекомендуемому для мужчин и женщин в МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ"² (4–5 : 1).

Однако показатели гидролитической порчи данного жира не позволяют его рекомендовать к пищевому использованию: значение кислотного числа (КЧ) равно 12,3 мг КОН/г жира (норма для пищевого рыбного жира – не более 4,0 мг КОН/г жира), при этом по перекисному числу данный жир не превышает регламентированного значения (ПЧ равно 1,9 ммоль акт.кислорода /кг при норме – не более 10 ммоль акт.кислорода /кг).

Вопрос безопасности креветочного жира для пищевого использования требует специального изучения, поскольку Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции"³ распространяется только на рыбные жиры.

Исследованы органолептические характеристики водорастворимых и водонерастворимых креветочных гидролизатов. Они имеют порошкообразную структуру, легкую сыпучесть, светло-розовый цвет, специфические "креветочные" запах и вкус, свойственный продуктам глубокого гидролиза вторичного сырья гидробийонтов. Водорастворимая добавка имеет слабую горчинку во вкусе, присущую низкомолекулярным пептидам морского происхождения (Kim et al., 2012). С учетом высокой биологической активности низкомолекулярных продуктов гидролиза (коротких пептидов) (Тутельян и др., 2014; Гришин и др., 2017), а также повышенного содержания в гидролизатах ценных компонентов (Максимова и др., 2017), рекомендовано их применение в качестве пищевых добавок – источников низкомолекулярных активных пептидов (водорастворимая добавка), высокомолекулярных белков, минеральных веществ и хитиновых компонентов (водонерастворимая добавка). Принимая во внимание высокое содержание протеиновых веществ, обе добавки рекомендуется вводить в качестве кормовых компонентов в состав комбикормов для животных, птиц и рыб в индустриальной аквакультуре (Мезенова и др., 2022а; 2022б). Жировую фракцию, получаемую из креветочных отходов, с учетом высокого содержания полиненасыщенных жирных кислот и показателей гидролитических и окислительных изменений также целесообразно вводить в состав различных кормовых продуктов.

Для окончательных выводов по пищевому и кормовому использованию полученных продуктов гидролиза креветочных отходов требуется подтверждение их безопасности в специальных испытаниях.

Заключение

В результате проведенных исследований:

- показана рациональность переработки отходов от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei* методом глубокого гидролиза с применением высокотемпературного и ферментативного способов и получением водорастворимой и водонерастворимой фракций в форме высушенных добавок;

- установлен химический состав креветочных отходов и продуктов их гидролиза. Показано высокое содержание белка в сырье (18,7 %). Высушенные водорастворимые продукты гидролиза содержат протеинов соответственно 71,6 % (термогидролиз) и 66,3–69,1 % (ферментализ). Более эффективно ферментативный гидролиз проходит при использовании фермента Alcalase 2,5L, чем коллагеназы;

- определен общий химический состав водонерастворимых продуктов гидролиза креветочных отходов. Термогидролизный способ позволяет получать сушеные добавки с содержанием белка 30,4 %, а ферментативный гидролиз – 36,9–38,5 % при содержании минеральных веществ 39,2–41,7 % и углеводно-хитиновых компонентов 5,3–7,7 %;

- исследован жирнокислотный состав креветочного жира, показавший повышенное содержание полиненасыщенных жирных кислот (44,7 %), прежде всего, олеиновой (21,9 %), в том числе высокое содержание кислот омега-6 (33,9 %). Содержание насыщенных жирных кислот составляет 24,73 % (включая пальмитиновую – 17,8 %), мононенасыщенных жирных кислот – 30,3 %. По соотношению жирных кислот омега-6 к омега-3, как 3,2 : 1, данный жир близок к рекомендуемому для положительного физиологического эффекта в питании человека (4–5 : 1);

- с учетом содержания в гидролизатах ценных биологически активных компонентов рекомендовано их применение в качестве пищевых и кормовых добавок.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме "Получение биологически активных веществ из побочных и недоэксплуатированных водных биологических ресурсов для рыбоводных и технических целей" (приказ Федерального агентства по рыболовству № 462 от 30 декабря 2022 г.).

² МР 2.3.1.0253-21.2.3.1. Гигиена. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации : утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021. URL: <https://bazanpa.ru/rosпотреbnadzor-metodicheskie-rekomendatsii-ot22072021-h5312421/?ysclid=lktd6lvd3s503824804>.

³ Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции" (с изменениями на 25 ноября 2022 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=lktdbnf9t3339439792>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Баканев С. В. Современные проблемы оценки запаса северной креветки в Баренцевом море // Вопросы рыболовства. 2020. Т. 21, № 2. С. 218–234. EDN: OIRGTD.
- Виговская И. М., Баштовой А. Н., Тимчишина Г. Н. [и др.]. Автопротеолизаты из креветок и их использование // Инновации в биотехнологии аквакультуры и водных биоресурсов Японского моря : материалы междунар. науч. конф., 07–12 июня 2016 г. Владивосток, 2016. С. 67–72.
- Гришин Д. В., Подобед О. В., Гладилина Ю. А., Покровская М. В. [и др.]. Биоактивные белки и пептиды: современное состояние и новые тенденции практического применения в пищевой промышленности и кормопроизводстве // Вопросы питания. 2017. Т. 86, № 3. С. 19–31. EDN: ZFQEYZ.
- Киселева М. В., Табакаева О. В., Каленик Т. К., Киселев А. Ю. [и др.]. Процесс получения ферментативных гидролизатов из отходов переработки креветки северной // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49, № 4. С. 635–642. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-635-642>. EDN: GTVBZJ.
- Киселева М. В., Табакаева О. В., Татаренко Г. С., Комлев С. А. Исследование возможности применения отходов креветки северной *Pandalus borealis* для обогащения продуктов питания // Пищевая промышленность. 2017. № 1. С. 20–24. EDN: XXVJKN.
- Максимова С. Н., Сафронова Т. М., Полещук Д. В. Хитиновые материалы в технологии водных биоресурсов. СПб. : Лань, 2017. 176 с.
- Мезенова Н. Ю., Байдалинова Л. С., Мезенова О. Я., Moersel J.-Т. [и др.]. Активные пептиды рыбной чешуи в гейнерах для спортивного питания // Вестник Международной академии холода. 2014. № 2. С. 47–52. EDN: SQJOFH.
- Мезенова О. Я. Биопотенциал вторичного хитинсодержащего сырья и рациональные направления его использования // Известия КГТУ. 2023. № 69. С. 74–88. DOI: <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-69-74-88>. EDN: JGMSGs.
- Мезенова О. Я., Волков В. В., Мерзель Т., Гримм Т. [и др.]. Сравнительная оценка способов гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья при получении пептидов и исследование их аминокислотной сбалансированности // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, № 4. С. 83–94. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-4-83-94>. EDN: YTDWFF.
- Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Мезенова Н. Ю. [и др.]. Проектирование сбалансированных кормов для индустриальной аквакультуры с применением протеиновых гидролизатов побочного рыбного сырья // Рыбное хозяйство. 2021а. № 4. С. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-4-81-88>. EDN: СНУVXX.
- Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю. [и др.]. Применение продуктов гидролиза шпротных отходов при кормлении европейского сига *Coregonus lavaretus* в аквакультуре // Рыбное хозяйство. 2022а. № 3. С. 54–61. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2022-3-54-61>. EDN: BRKKTN.
- Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю. [и др.]. Оценка питательной ценности комбикормов для лососевых с добавлением продуктов гидролиза шпротных отходов // Известия КГТУ. 2022б. № 67. С. 32–47.
- Мезенова О. Я., Тишлер Д., Агафонова С. В., Мезенова Н. Ю. [и др.]. Применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей // Вестник Международной академии холода. 2021б. № 1. С. 46–58. DOI: <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-1-46-58>. EDN: NIPMVG.
- Самсонов М. В., Винокур М. Л., Андреев М. П. Исследование процесса гидролиза панцирных отходов вареной креветки с использованием протосубтилина // Известия КГТУ. 2017а. № 46. С. 90–99. EDN: ZCICNT.
- Самсонов М. В., Винокур М. Л., Андреев М. П. Сравнительный анализ выделения астаксантина из панцирных отходов креветки с использованием ферментных препаратов трипсина, химотрипсина и протосубтилина // Известия КГТУ. 2017б. № 44. С. 150–156. EDN: ХТСWOJ.
- Способ получения пищевых добавок из вторичного рыбного сырья с применением гидролиза: пат. 2681352 Рос. Федерация / Агафонова С. В., Байдалинова Л. С., Волков В. В., Городниченко Л. В. № 2018103795 ; заявл. 31.01.2018 ; опубл. 06.03.2019. Бюл. № 7.
- Тутельян В. А., Хавинсон В. Х., Рыжак Г. А., Линькова Н. С. Короткие пептиды как компоненты питания: молекулярные основы регуляции гомеостаза // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134, № 3. С. 227–235. EDN: SGZRUD.
- Ярочкин А. П., Тимчишина Г. Н., Акулин В. Н., Баштовой А. Н. [и др.]. Биотехнология переработки мелких креветок для использования в пищевых продуктах // Известия ТИПРО. 2020. Т. 200, вып. 2. С. 460–485. DOI: <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2020-200-460-485>. EDN: QCUUOT.
- Kim S.-K., Ngo D.-H., Vo T.-S. Marine fish-derived bioactive peptides as potential antihypertensive agents // Advances in Food and Nutrition Research. 2012. Vol. 65. P. 249–260. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-416003-3.00016-0>.

References

- Bakanev, S. V. 2020. Modern problems of assessing the stock of the northern shrimp in the Barents Sea. *Problems of Fisheries*, 21(2), pp. 218–234. EDN: OIRGTD. (In Russ.)
- Vigovskaya, I. M., Bashtova, A. N., Timchishina, G. N. et al. 2016. Autoproteolysates from shrimp and their use. Proceedings of the Intern. Scien. Conf. *Innovations in Biotechnology of Aquaculture and Aquatic Bioresources of the Sea of Japan*, 07–12 June, 2016. Vladivostok, pp. 67–72. (In Russ.)
- Grishin, D. V., Podobed, O. V., Gladilina, Yu. A., Pokrovskaya, M. V. et al. 2017. Bioactive proteins and peptides: Current state and new trends in practical application in the food industry and fodder production. *Problems of Nutrition*, 86(3), pp. 19–31. EDN: ZFQEYZ. (In Russ.)
- Kiseleva, M. V., Tabakaeva, O. V., Kalenik, T. K., Kiselev, A. Yu. et al. 2019. The process of obtaining enzymatic hydrolysates from northern shrimp processing waste. *Tekhnika I Tekhnologiya Pishchevykh Proizvodstv*, 49(4), pp. 635–642. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-635-642>. EDN: GTVBZJ. (In Russ.)
- Kiseleva, M. V., Tabakaeva, O. V., Tatarenko, G. S., Komlev, S. A. 2017. Research on the possibility of using waste from the northern shrimp *Pandalus borealis* for food enrichment. *Food Industry*, 1, pp. 20–24. EDN: XXBJKN. (In Russ.)
- Maksimova, S. N., Safronova, T. M., Poleshchuk, D. V. 2017. Chitin materials in the technology of aquatic bioresources. St. Petersburg. (In Russ.)
- Mezenova, N. Yu., Baidalinova, L. S., Mezenova, O. Ya., Moersel, J.-T. et al. 2014. Active fish scale peptides in sports nutrition gainers. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 2, pp. 47–52. EDN: SQJOFH. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya. 2023. Biopotential of secondary chitin-containing raw materials and rational directions of its use. *KSTU News*, 69, pp. 74–88. DOI: <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-69-74-88>. EDN: JGMSGG. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Volkov, V. V., Merzel, T., Grimm, T. et al. 2018. Comparative evaluation of the methods of hydrolysis of collagen-containing fish raw materials in the production of proteins and the study of their amino acid balance. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya*, 8(4), pp. 83–94. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-4-83-94>. EDN: YTDWFF. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Pyanov, D. S., Agafonova, S. V., Mezenova, N. Yu. et al. 2021a. Designing balanced feed for industrial aquaculture using protein hydrolysates of by-product fish raw materials. *Fisheries*, 4, pp. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-4-81-88>. EDN: CHYVXX. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Pyanov, D. S., Agafonova, S. V., Romanenko, N. Yu. et al. 2022a. Application of hydrolysis products of sprat waste when feeding the European whitefish *Coregonus lavaretus* in aquaculture. *Fisheries*, 3, pp. 54–61. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2022-3-54-61>. EDN: BRKKTN. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Pyanov, D. S., Agafonova, S. V., Romanenko, N. Yu. et al. 2022b. Evaluation of the nutritional value of mixed feed for salmon with the addition of sprat waste hydrolysis products. *KSTU News*, 67, pp. 32–47. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Tishler, D., Agafonova, S. V., Mezenova, N. Yu. et al. 2021b. The use of peptide and lipid compositions obtained by hydrolysis processing of collagen-containing tissues. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 1, pp. 46–58. DOI: <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-1-46-58>. EDN: NIPMVG. (In Russ.)
- Samsonov, M. V., Vinokur, M. L., Andreev, M. P. 2017a. Study of the process of hydrolysis of shell waste of boiled shrimp using protosubtilin. *KSTU News*, 46, pp. 90–99. EDN: ZCICNT. (In Russ.)
- Samsonov, M. V., Vinokur, M. L., Andreev, M. P. 2017b. Comparative analysis of the isolation of astaxanthin from crustacean shell waste using enzyme preparations trypsin, chymotrypsin, protosubtilin. *KSTU News*, 44, pp. 150–156. EDN: XTCWOJ. (In Russ.)
- Agafonova, S. V., Baydalinova, L. S., Volkov, V. V., Gorodnichenko, L. V. 2018. Method for obtaining food additives from secondary fish raw materials using hydrolysis, Russian Federation, Pat. 2681352. (In Russ.)
- Tutelyan, V. A., Khavinson, V. Kh., Ryzhak, G. A., Linkova, N. S. 2014. Short peptides as nutritional components: Molecular basis of homeostasis regulation. *Uspekhi Sovremennoi Biologii*, 134(3), pp. 227–235. EDN: SGZRUD. (In Russ.)
- Yarochkin, A. P., Timchishina, G. N., Akulin, V. N., Bashtovoi, A. N. et al. 2020. Biotechnology for processing small shrimp for use in food products. *Izvestiya TINRO*, 200(2), pp. 460–485. DOI: <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2020-200-460-485>. EDN: QCUUOT. (In Russ.)
- Kim, S.-K., Ngo, D.-H., Vo, T.-S. 2012. Marine fish-derived bioactive peptides as potential antihypertensive agents. *Advances in Food and Nutrition Research*, 65, pp. 249–260. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-416003-3.00016-0>.

Сведения об авторах

Мезенова Ольга Яковлевна – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный технический университет, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: mezenova@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

Olga Ya. Mezenova – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical University,
Dr. Sci. (Engineering), Professor; e-mail: mezenova@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

Агафонова Светлана Викторовна – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: svetlana.agafonova@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5992-414X>

Svetlana V. Agafonova – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical
University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: svetlana.agafonova@klgtu.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5992-414X>

Романенко Наталья Юрьевна – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: nataliya.mezenova@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7433-7189>

Natalya Yu. Romanenko – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical
University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: nataliya.mezenova@klgtu.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7433-7189>

Калинина Наталья Сергеевна – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный технический университет; e-mail: natalya.kalinina@klgtu.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0942-5411>

Natalya S. Kalinina – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical University;
e-mail: natalya.kalinina@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0942-5411>

Волков Владимир Владимирович – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный технический университет, Центр белка кафедры пищевой
биотехнологии; e-mail: vladimir.volkov@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5560-7131>

Vladimir V. Volkov – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical
University, Protein Center of the Food Biotechnology Department;
e-mail: vladimir.volkov@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5560-7131>

Йорг-Томас Мерзель – 1, Ан дер Мюле, Альтландсберг, 15345, Германия;
Научно-исследовательская и консультационная лаборатория UBF GmbH, Альтландсберг, д-р хим. наук,
профессор; e-mail: thomas.moersel@ubf-research.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5760-1144>

Jörg-Thomas Mörsel – 1 An der Mühle, Altlandsberg, 15345, Germany, UBF-Untersuchungs-, Beratungs-,
Forschungslaboratorium GmbH; Altlandsberg, Germany, Dr. Sci. (Natural Sciences), Professor;
e-mail: thomas.moersel@ubf-research.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5760-1144>