

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 639.2 : 639.3.043

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-68-07

EDN: MTEINQ

Оценка протеинового потенциала перспективных сырьевых источников для кормовых целей

**Ольга Яковлевна Мезенова¹, Светлана Викторовна Агафонова²,
Наталья Юрьевна Романенко³, Наталья Сергеевна Калинина⁴,
Владимир Владимирович Волков⁵**

^{1, 2, 3, 4, 5} Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹ mezenova@klgtu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

² svetlana.agafonova@klgtu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-5992-414X>

³ nataliya.mezenova@klgtu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-7433-7189>

⁴ natalya.kalinina@klgtu.ru; <http://orcid.org/0000-0003-0942-5411>

⁵ vladimir.volkov@klgtu.ru; <http://orcid.org/0000-0001-5560-7131>

Аннотация. Проблема качественного кормового белка сдерживает интенсивное развитие животноводства, птицеводства, аквакультуры. Современное кормопроизводство использует в качестве источника протеина рыбную, мясокостную, перьевую кормовую муку, растительные белки. Перспективным источником протеина становятся гидролизаты недовостребованного вторичного рыбного и хитинсодержащего сырья. Целью исследования являлась оценка протеинового потенциала продуктов глубокого гидролиза данного сырья для использования в кормах для рыбоводства. Объектами исследования являлись отходы от разделки рыбы (чешуя, головы копченой кильки), головогрудь камчатских крабов, северной и белоногой креветок. Данное сырье из-за высокой минерализации, коптильных компонентов и содержания хитина практически не перерабатывается на кормовые продукты традиционными методами. В работе сырье подвергали ферментативному и высокотемпературному гидролизу в водной среде под давлением. После фракционирования гидролизатов и их сушки получали две протеинсодержащие добавки, представляющие собой водорастворимые и водонерастворимые порошкообразные дисперсии. Изучены общий химический состав, фракционно-молекулярное распределение и аминокислотный состав белков в полученных добавках. Содержание белка в водорастворимой добавке составляло от 63,8 до 97,7 % в зависимости от вида сырья и способа гидролиза, при этом молекулярная масса 92–95 % пептидных молекул в добавках колебалась в пределах 5–10 кДа. В сравнительных биологических экспериментах по введению водорастворимых добавок в состав комбикормов молоди сига и радужной форели в количестве 5 % взамен рыбной муки получен достоверный прирост морфометрических показателей опытных рыб относительно контрольных. Полученные результаты свиде-

тельствуют о высоком протеиновом потенциале изученных сырьевых источников и рациональности его использования в кормовых технологиях.

Ключевые слова: протеины, вторичное рыбное сырье, хитинсодержащие отходы, гидролиз, пептидно-протеиновая добавка, комбикорма, аквакультура

Благодарности. Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального агентства по рыболовству по теме «Получение биологически активных веществ из побочных и недоэксплуатированных водных биологических ресурсов для рыбоводных и технических целей» (Рег. № 122030900082-3). Благодарим директора консультационно-исследовательской лаборатории UBF (Германия), доктора Томаса Мерзеля за помощь с аналитическими исследованиями и к.б.н. Е. В. Шахову за помощь в биологических испытаниях.

Для цитирования: Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В. Оценка протеинового потенциала перспективных сырьевых источников для кормовых целей // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 68, № 2. С. 61–72.

FOOD SYSTEMS

Original article

Assessment of the protein potential of promising raw material sources for feed purposes

Olga Ya. Mezenova¹, Svetlana V. Agafonova², Natalia Yu. Romanenko³,
Natalia S. Kalinina⁴, Vladimir V. Volkov⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ mezenova@klgtu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

² svetlana.agafonova@klgtu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-5992-414X>

³ nataliya.mezenova@klgtu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-7433-7189>

⁴ natalya.kalinina@klgtu.ru; <http://orcid.org/0000-0003-0942-5411>

⁵ vladimir.volkov@klgtu.ru; <http://orcid.org/0000-0001-5560-7131>

Abstract. The problem of high-quality feed protein is holding back the intensive development of livestock farming, poultry farming, and aquaculture. Modern feed production uses fish, meat and bone, feather feed meal, and vegetable proteins as a source of protein. Hydrolysates of under-demanded secondary fish and chitin-containing raw materials are becoming a promising source of protein. The purpose of the study was to evaluate the protein potential of the products of deep hydrolysis of this raw material for use in feed for fish farming. The objects of the study were waste from fish cutting (scales, heads of smoked sprat), cephalothorax of Kamchatka crabs, northern and whiteleg shrimp. Due to their high mineralization, smoking components and chitin content, these raw materials are practically not processed into feed products using traditional methods. In the work, the raw materials were subjected to enzymatic and high-temperature hydrolysis in an aqueous environment under pressure. After fractionation of the hydrolysates and their drying, two protein-containing additives were obtained, which were water-soluble and water-insoluble powder dispersions. The general chemical composition, fractional-molecular distribution and amino acid composition of proteins in the resulting supplements were studied. The protein content in the water-soluble additive ranged from 63.8 % to 97.7 % depending on the type of raw material and method of hydrolysis, while the molecular weight of 92–95 % of the peptide molecules in the additive ranged from 5–10 kDa. In comparative biological experiments on the introduction of water-soluble addi-

tives into the feed composition of juvenile whitefish and rainbow trout in an amount of 5% instead of fish meal, a significant increase in the morphobiological parameters of experimental fish relative to control ones was obtained. The results obtained indicate the high protein potential of the studied raw material sources and the rationality of its use in feed technologies.

Keywords: proteins, secondary fish raw materials, chitin-containing waste, hydrolysis, peptide-protein additive, feed, aquaculture

Acknowledgments. The study were carried out within the framework of the State Assignment of Roskomry-bolovstvo on the topic: “Obtaining biologically active substances from by-products and under-demanded aquatic biological resources for fish farming and technical purposes” (Reg. No. 122030900082-3). We thank the Director of the UBF Consulting and Research Laboratory (Germany), Dr. Thomas Moerzel for his assistance with analytical studies, as well as Ph.D. Shakhov E.V. for assistance in biological testing.

For citation: Mezenova O. Ya., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Kalinina N. S., Volkov V. V. Assessment of the protein potential of promising raw material sources for feed purposes. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2024; 68(2):61–72. (in Russ.).

Введение

Отечественное кормопроизводство не обеспечивает сегодня растущие потребности в кормах для животноводства, птицеводства, аквакультуры. Особенно остро чувствуется нехватка качественных протеиновых источников при выращивании ценных пород рыб в индустриальной аквакультуре (лососевых, осетровых, сиговых и др.) [1]. Одной из причин этого является нехватка кормовой рыбной муки – основного источника протеина для плотоядных рыб. В настоящее время в нашей стране рыбная мука не производится в достаточном количестве, а выпускаемая имеет, как правило, пониженное содержание белка [2].

В связи с этим остро стоит вопрос об альтернативных источниках животного протеина, предназначенных для ценных объектов аквакультуры. Представляется перспективным для этого использовать недовостребованное вторичное рыбное и хитинсодержащее сырье (ХСС) – отходы от разделки [3, 4]. Проблемными отходами являются: чешуя сардины (при производстве консервов «Сардины в масле»), головы копченой кильки (при производстве консервов «Шпроты в масле»), головогрудь креветок [5, 6].

Данное сырье накапливается в больших объемах и представляет собой перспективный источник животного протеина. Проблемой является повышение доступности его усвоения при применении в качестве источника аминокислот. Недоиспользуемость этого сырья обусловлена высоким содержанием минеральных веществ и коллагенсодержащих тканей (в чешуе и головах рыб, ХСС), присутствием копильных компонентов (в шпротных отходах), наличием хитина (креветочные отходы). Повысить усвояемость компонентов данного сырья возможно путем его предварительного гидролиза [7, 8, 9].

Традиционным способом гидролиза протеинсодержащего сырья является ферментализация с применением протеаз, в том числе специфических коммерческих протеолитических ферментов [5, 8]. В Калининградском государственном техническом университете разработан и положительно апробирован способ высокотемпературного гидролиза коллагенсодержащего высокоминерализованного сырья под давлением в водной среде с получением двух видов протеиновых добавок (водорастворимой и водонерастворимой) [9]. Анализ состава водорастворимых протеиновых добавок, получаемых после сублимационной сушки, показал, что они содержат 82–94 % протеина, практически нет примесей (1–3 % жира и 2–6 % золы), при этом они содержат практически все незаменимые аминокислоты, количество которых зависит от вида сырья и способа гидролиза [7, 9].

Целью исследования являлась оценка протеинового потенциала продуктов гидролиза высокоминерализованных коллагенсодержащих отходов от разделки рыбы (чешуи, голов коп-

ченной кильки) и хитинсодержащего сырья (креветок), а также определение рациональности их использования в кормопроизводстве.

Для достижения поставленной цели необходимо было оценить общий химический состав данного сырья, продуктов его гидролиза, исследовать аминокислотный состав получаемых добавок, фракционно-молекулярное распределение пептидов в водорастворимой добавке, а также оценить в биологических испытаниях аквакультуры их питательную ценность.

Объекты и методы исследований

Экспериментальные исследования проводились на кафедре пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», в Научно-исследовательской лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия), на рыбоводном предприятии ООО «ПРОМКОРМ» (п. Волочаевка Калининградской области).

При проведении экспериментов использовалось следующее сырье:

- чешуя сардины, предоставленные рыбоконсервным комплексом ОАО «РосКон» (г. Пионерский, Калининградская область);
- головы копченой кильки, предоставленные СПК «За Родину» (п. Взморье, Калининградская область);
- отходы от разделки северной креветки (*Pandalus borealis*) и креветки белоногой (*Penaeus Vannamei*), поставленные ООО «Вичюняй-Русь» (г. Советск, Калининградская область).

Гидролиз вторичного водного биологического сырья проводили двумя способами:

- 1 – ферментативный гидролиз с применением ферментов Alcalase 2,5L (Novozymes, Дания) и коллагеназы (ООО «Биопрогресс», г. Щелково, Россия);
- 2 – высокотемпературный гидролиз в нейтральной водной среде под давлением.

При проведении термогидролиза сырье измельчали, смешивали с горячей водой при гидромодуле 1 : 1 и помещали в термореакторе, где проводили обработку при 130 °С в течение 60 мин под давлением 0,20 МПа при pH 7,0. Гидролизованную суспензию разделяли центрифугированием на три фракции – жировую (верхнюю), водорастворимую (пептидно-протеиновую, среднюю) и водонерастворимую (белково-минеральную, осадочную). Обе протеинсодержащие фракции обезвоживали (сублимационно и конвекционно).

Анализ биопотенциала сырья и его гидролизатов проводили лабораторным путем по стандартным и общепринятым методикам. Оценку содержания воды, белка, жира, минеральных веществ, аминного азота и хитина проводили по ГОСТ 7636. Содержание аминокислот в белках протеиновых добавок определяли по стандарту EU 152/2009 (F) в Научно-исследовательской лаборатории UBF (Германия) с идентификацией на АК-анализаторе с нингидрином в соответствии с ISO 13903-2005. Фракционно-молекулярный состав водорастворимой добавки проводили методом жидкостной хроматографии. Сущность метода заключается в разбавлении и фильтровании образца, разделении на фракции по молекулярным массам (ММ) и идентификации ММ фракции ультрафиолетовым детектированием по времени выхода молекул с одновременным расчетом усредненных значений ММ по фракциям.

Статистическую обработку результатов проводили на 95%-м доверительном уровне.

Результаты и их обсуждение

Общий химический состав сырья и водорастворимых добавок, полученных различными способами гидролиза вторичных ВБР, приведен в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что использованное сырье содержит достаточно много протеина (15,3–18,7 %), количество которого значительно возрастает при его гидролизе и сушке при получении водорастворимых добавок (63,8–94,1 %). Полученные данные подтверждают высокий протеиновый потенциал сырья и возможность его использования в кормовых целях.

Таблица 1

Содержание основных органических веществ во вторичном протеинсодержащем сырье и водорастворимых продуктах его гидролиза различными способами

Table 1

The content of basic organic substances in secondary protein-containing raw materials and water-soluble products of its hydrolysis in various ways

Сырье	Содержание, %				
	Вода	Белок	Жир	Минеральные вещества	Углеводы (хитин)
Чешуя сардины	65,4	15,3	8,46	3,27	-
Гидролизат чешуи, способ гидролиза:					
- ферментативный (алкалаза)	4,2	94,1	0,3	1,4	-
- термический	5,6	85,7	4,5	4,2	-
Головы копченой кильки	65,6	18,3	10,3	5,78	-
Гидролизат голов копченой кильки, способ гидролиза:					
- ферментативный (алкалаза)	8,3	84,7	5,5	1,5	-
- термический	6,7	82,7	2,0	8,6	-
Отходы от разделки креветок	75,3	18,7	1,2	5,9	1,5
Гидролизат креветочных отходов, способ гидролиза:					
- ферментативный (алкалаза)	8,9	69,3	1,3	14,3	6,2
- термический	6,4	71,6	0,45	19,2	2,1

Количество белка в корме важное, но недостаточное условие эффективного питания рыб. В кормовых технологиях принята концепция «идеального» белка, сбалансированность которого рассчитывается по содержанию незаменимых аминокислот (аргинин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, фенилаланин, треонин, триптофан и валин) [1, 2, 10].

В процессе экспериментов первоначально был установлен аминокислотный состав белков чешуи сардины, показавший содержание незаменимых аминокислот на уровне 13,5–17,4 %; заменимых – от 82,6 до 86,5 %. Среди заменимых аминокислот достаточно много глицина (12,6–26,0 %), пролина (9,4–11,7 %), гидроксипролина (9,5–10,7 %), глутаминовой кислоты (8,5–9,3%), что предопределяет их участие в формировании скелета рыб [11].

В процессе гидролиза чешуи сардины были получены протеиновые фракции ферментативным и термическим способами с содержанием белковых веществ 76,8–83,9 % (водорастворимая добавка) и 27,5–33,4 % (водонерастворимая добавка). Исследование фракционно-молекулярного состава показало, что ферментативный способ позволяют получать 97,7 % массы низкомолекулярных пептидов с ММ менее 10 кДа, тогда как при термическом способе количество таких пептидов в добавке составило 53,3 % (рис. 1). Экспериментальные данные позволяют сделать вывод о повышении протеинового потенциала в обеих добавках по содержанию белка, при этом водорастворимая добавка, включающая короткие пептиды, потенциально обладает повышенной физиологической активностью [11, 12, 13].

Анализ аминокислотного состава водорастворимой добавки из чешуи сардины, полученной ферментативным и термическим способами, показал, что в них содержатся все незаменимые и ценные заменимые аминокислоты, независимо от способа гидролиза. Основными из них являются (%): глицин (12,6–29,4), аланин (5,8–11,2), глутаминовая кислота (6,9–9,3), пролин (6,9–9,4) и гидроксипролин (4,3–10,7), что подтверждается литературными данными по составу коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья [11].

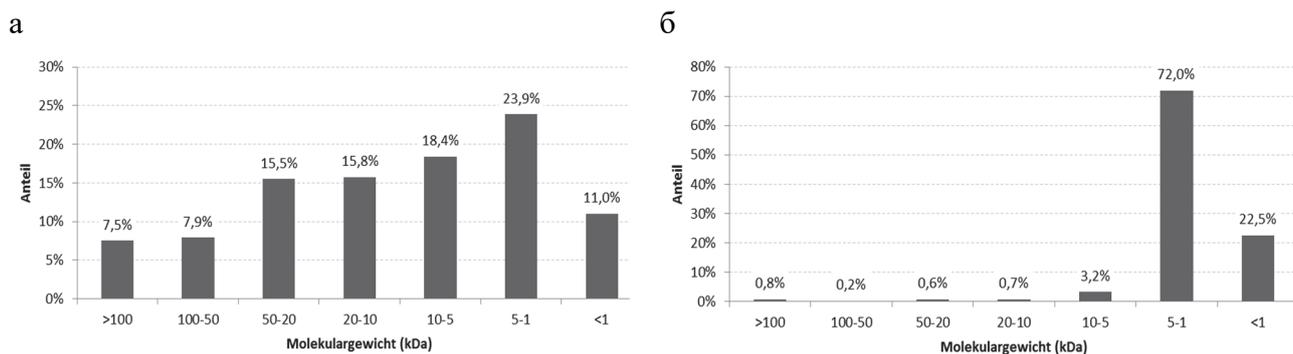


Рис. 1. Молекулярно-фракционный состав пептидов водорастворимых протеиновых добавок, полученных из чешуи сардины различными способами гидролиза: а – термический; б – ферментативный
 Fig. 1. Molecular fractional composition of peptides of water-soluble protein additives obtained from sardine scales by various hydrolysis methods: a – thermal; б – enzymatic

Оценку кормового потенциала полученных водорастворимых гидролизатов чешуи на предмет применения в кормах для плотоядных рыб в аквакультуре проводили путем сравнительного расчета аминокислотного сора относительно «идеальных» белков, устанавливающих потребности в незаменимых аминокислотах для лососевых видов рыб (табл. 2) [1, 10].

Таблица 2

**Аминокислотные сора водорастворимых добавок,
 полученных из чешуи сардины различными способами гидролиза,
 рассчитанные относительно «идеальных» белков для лососевых видов рыб**

Table 2

Amino acid scores of water-soluble additives obtained from sardine scales by various hydrolysis methods, calculated relative to "ideal" proteins for salmon fish species

Незаменимая аминокислота	Содержание, г/100 г белка, в гидролизате:		Установленная потребность (по Саенко), % белка [1]	Сора аминокислот, %, в гидролизате:		Установленная потребность (по Kaushik), % белка [1]	Сора аминокислот, %, в гидролизате:	
	термическом	ферментативном		термическом	ферментативном		термическом	ферментативном
Аргинин	8,3	13,4	5,0	165,4	267,8	6,0	137,8	223,2
Гистидин	2,2	5,6	-	-	-	1,8	124,4	308,9
Изолейцин	3,0	10,2	2,2	134,1	463,63	2,3	128,3	443,5
Лейцин	4,5	15,7	3,9	115,1	401,28	4,0	112,3	391,3
Лизин	8,6	18,6	-	-	-	5,0	172,6	372,6
Метионин	2,7+0,2*	7,8+1,4*	1,5+1*	119,6	366,8	4,0	69,0	229,3
Фенилаланин	2,4+1,7**	8,6+6,1**	4,1+0,4**	90,4	325,55	4,3	94,7	340,7
Треонин	2,8	10,1	2,2	125,0	457,72	2,3	119,6	437,8
Валин	5,2	12,1	3,0	173,3	403,66	3,3	156,7	367,0

*Цистин, **тирозин.

Анализ полученных данных показывает, что в водорастворимых добавках из чешуи практически по всем аминокислотам сора увеличились на 7–8 % относительно «эталона» и превысили 100 %, за исключением метионина и фенилаланина (по расчетам Каушика). Это свидетельствует о повышенной потенциальной возможности добавок из чешуи удовлетворять пластические и энергетические нужды растущих лососевых рыб.

В связи с тем, что технологически с точки зрения массового выхода и санитарной безопасности при переработке высокоминерализованного сырья более рациональным способом гидролиза является термический, а при этом питательная ценность пептидно-протеиновых добавок обоих способов получения остается высокой (табл. 2), то в дальнейшем предпочтительнее отдавали высокотемпературному способу гидролиза перед ферментативным.

Состав аминокислот, установленных в белках водорастворимой и водонерастворимой добавок, полученных из голов копченой кильки термогидролизом, представлен в табл. 3.

Таблица 3

Аминокислотный состав водорастворимой и водонерастворимой добавок, полученных из голов копченой кильки высокотемпературным гидролизом (г/100 г белка)

Table 3

Amino acid composition of water-soluble and water-insoluble products obtained from smoked sprat heads by high-temperature hydrolysis (g/100 g of protein)

Аминокислота	Водорастворимая добавка	Водонерастворимая добавка
Незаменимые аминокислоты		
Изолейцин	1,62	0
Лейцин	2,77	4,67
Валин	2,42	3,25
Метионин	0,84	0
Фенилаланин	1,4	0
Триптофан	0,98	0
Лизин	3,93	3,86
Треонин	1,73	0
Гистидин	0	0,18
Заменимые аминокислоты		
Аланин	9,56	5,89
Аргинин	1,13	13,2
Аспарагин	0,29	0
Аспарагиновая кислота	1,11	3,56
Карнозин	0,32	0
Глутамин	2,95	4,06
Глутаминовая кислота	3,22	0
Глицин	13,27	8,93
Орнитин	0,71	2,03
Пролин	1,26	0
Серин	2,26	4,47
Таурин	28,17	6,9
Тирозин	1,55	0

Из табл. 3 следует, что полученные добавки отличаются друг от друга по аминокислотному составу белков. Водорастворимая добавка содержит все незаменимые аминокислоты, в то время как в водонерастворимой добавке отсутствуют 5 незаменимых аминокислот (изолейцин, метионин, фенилаланин, триптофан и треонин). В обеих добавках достаточно много лизина, аланина, гистидина и таурина. Лизин особенно важен в питании рыб, он ускоряет рост, дает метаболическую энергию для плавания и размножения, увеличивает содержание жирных омега-3-кислот. В водорастворимой добавке установлено высокое содержание таурина (28,17 % белка), играющего важную роль в обеспечении нейрогуморального эффекта. Установлена особая роль именно заменимых аминокислот в синтезе многих важных биоло-

гически активных веществ, при этом снижаются затраты незаменимых аминокислот на синтез de novo заменимых аминокислот в клетках [1, 10].

О питательной ценности водорастворимых добавок, полученных из креветочных отходов различными способами гидролиза, судили по их аминокислотному составу (табл. 4).

Таблица 4

Аминокислотный состав водорастворимых добавок, полученных из креветочных отходов термическим и ферментативным гидролизом с различными ферментами

Table 4

Amino acid composition of water-soluble additives obtained from shrimp waste by thermal and enzymatic hydrolysis with various enzymes

Аминокислота	Содержание в гидролизате, г/100 г, полученном		
	термическим гидролизом	ферментализом с коллагеназой	ферментализом с алкалазой
Аланин	5,7	5,8	5,7
Аргинин	6,4	6,6	6,5
Аспарагин	1,9	2,5	2,6
Аспарагиновая кислота	4,2	4,0	4,6
Карнозин	0,1	0,1	0,1
Цитрулин	0,2	-	0,3
Цистин	0,4	0,3	1,9
Глутамин	3,1	2,6	4,3
Глутаминовая кислота	4,6	5,3	4,8
Глицин	4,7	4,3	4,1
Гистидин	1,8	1,7	12,0
Гидроксипролин	0,1	0,1	0,1
Изолейцин	4,7	4,3	4,8
Лейцин	3,7	3,9	2,7
Лизин	5,9	6,1	5,8
Метионин	2,4	2,4	2,3
Орнитин	0,5	0,7	0,4
Фенилаланин	3,9	4,3	4,1
Пролин	3,7	3,4	2,9
Серин	2,6	2,5	2,3
Таурин	2,3	1,5	1,6
Треонин	2,3	3,0	3,0
Триптофан	0,7	0,9	0,9
Тирозин	4,3	4,2	4,1
Валин	3,5	3,7	3,6

Количественные данные в табл. 4 свидетельствуют о близости аминокислотного состава пептидно-протеиновых добавок, полученных из отходов креветки разными способами гидролиза. Во всех образцах присутствуют практически все незаменимые аминокислоты: лизин (4,5–6,1 г/100 г), фенилаланин (3,1–4,3), изолейцин (4,3–4,8 г/100 г). Среди заменимых аминокислот преобладают «щелочные» аминокислоты (аланин, аргинин), а также низкомолекулярный глицин (4,1–5,7 г/100 г) и пролин (1,8–2,7 г/100 г), обеспечивающие синтез опорных тканей [8, 9]. На достаточно высоком уровне (3,3–6,4 г/100 г) содержатся аспарагиновая кислота, тирозин и валин, обеспечивающие функционирование нервной системы, обменные процессы, нейромедиаторные взаимодействия в организмах рыб [1, 2, 10].

О физиологической усвояемости водорастворимых добавок, полученных из креветочных отходов, судили по их молекулярно-массовому распределению (рис. 2).

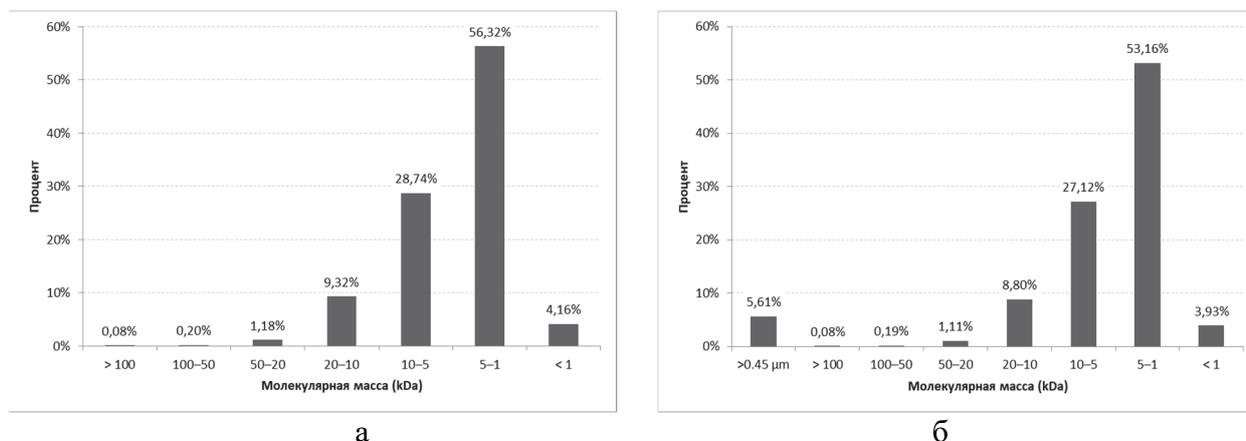


Рис. 2. Диаграммы распределения фракций пептидно-протеиновых добавок, полученных из креветочных отходов по молекулярной массе: а – высокотемпературный гидролиз;

б – ферментализ с применением алкалазы

Fig. 2. Diagrams of the distribution of fractions of peptide-protein additives obtained from shrimp waste by molecular weight: а – high-temperature hydrolysis; б – fermentolysis using alkalase

Из анализа результатов молекулярно-фракционного распределения пептидов по ММ в водорастворимых добавках, получаемых из ХСС (рис. 2), видно, что они характеризуются повышенным содержанием низкомолекулярных пептидов (менее 20 кДа). Термогидролиз позволяет получать добавки с повышенным содержанием низкомолекулярных пептидов (ММ менее 20 кДа) – 98,54 %, чем ферментализ (93,01 %). Этот факт можно объяснить высокой минерализацией тканей ХСС, трудно поддающихся ферментативному распаду, которые при высокотемпературном воздействии деградируют на низкомолекулярные фрагменты более эффективно. Основную фракцию во всех добавках представляют пептиды с ММ от 1 до 10 кДа. При этом содержание пептидов с ММ менее 5 кДа, которые считаются физиологически активными, преобладает в добавках термического способа гидролиза [11, 12, 13].

Для оценки протеинового потенциала полученных из отходов от разделки рыбы и ХСС водорастворимых добавок и рациональности их использования в кормовых технологиях аквакультуры проводили специальные биологические испытания по выращиванию плотоядных рыб [13, 14, 15]. При этом в стандартную рецептуру комбикормов для молоди сига (*Coregonus lavaretus*) добавляли шпротные добавки, а для радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) – крабовые добавки в количестве 5 %, которые вводили вместо кормовой рыбной муки. В сравнительных экспериментах, проводимых в установках замкнутого водоснабжения в рыбоводных хозяйствах, в течение 56 сут кормили две группы рыб (экспериментальную и контрольную). Результаты оценки морфометрических показателей рыб обеих партий, рассчитанные по окончании эксперимента, представлены в табл. 5.

Результаты биологических экспериментов (табл. 5) свидетельствуют о высокой физиологической эффективности вводимых в комбикорма для молоди рыб водорастворимых добавок, полученных из вторичного рыбного и хитинсодержащего сырья. Все морфометрические показатели опытных экземпляров сиговых рыб и форели (прирост массы, скорость роста, выживаемость) увеличились относительно контрольных рыб на достоверные величины. Полученные данные свидетельствуют о высоком протеиновом потенциале новых протеиновых добавок, перспективности их применения в промышленной аквакультуре и других кормовых отраслях (для сельскохозяйственных и домашних животных, птицы) [19, 20].

Таблица 5

**Морфометрические показатели опытных и контрольных рыб в аквакультуре
(в опытных образцах корма введены экспериментальные водорастворимые добавки)**

Table 5

**Morphometric indicators of experimental and control fish in aquaculture
(experimental water-soluble additives were introduced in experimental feed samples)**

Показатели	Контроль	Опыт	Прирост показателя, %
Молодь радужной форели, в опытных кормах – добавки из крабовых отходов			
Масса (начало), г	85,15±7,32	85,15±7,32	
Масса (конец), г	131,27±17	145,47±16	10,8
Прирост массы, г	46,12±91,	60,32±8	30,8
Удельная скорость роста, %	1,22±0,97	1,54±0,71	26,2
Выживаемость, %	96	98	2,0
Мальки европейского сига, в опытных кормах – добавки из голов копченой кильки			
Масса (начало), г	1,00±0,38	1,06±0,37	
Масса (конец), г	2,73±1,53	3,00±1,20	35,4
Прирост массы, г	1,73±1,52	1,94±1,21	31,7
Удельная скорость роста, %	1,79±0,10	1,86±0,27	69,4
Выживаемость, %	81,33±2,30	88,67±2,30	1,8

Заключение

Показан высокий протеиновый потенциал продуктов глубокого гидролиза недоиспользуемого рыбного и хитинсодержащего биологического сырья (чешуи сардины, голов копченой кильки, отходов от разделки креветок) и рациональность его использования для получения кормовых добавок для индустриальной аквакультуры плотоядных рыб.

Исследован общий химический состав данного сырья, продуктов его высокотемпературного и ферментативного гидролиза (водорастворимой и водонерастворимой добавок), фракционно-молекулярное распределение пептидов в водорастворимых добавках: результаты свидетельствуют о высокой концентрации в добавках активных низкомолекулярных пептидов с ММ менее 10 кДа (более 90 %) и их потенциальной физиологической усвояемости.

Проведены положительные биологические испытания водорастворимых добавок из шпротных и крабовых отходов в составе комбикормов плотоядных рыб в аквакультуре; полученные морфометрические показатели рыб подтвердили физиологическую эффективность добавок и перспективность их кормового использования.

Список источников

1. Щербина М. А., Гамыгин Е. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. Москва : Изд-во ВНИРО, 2006. 360 с.
2. Остроумова И. Н. Биологические основы кормления рыб. Изд. 2-е, испр. и доп. Санкт-Петербург : ГосНИОРХ, 2012. 564 с.
3. Игнатова Т. А., Родина Т. В., Подкорытова А. В. Биотехнологическая конверсия отходов от разделки краба *Paralithodes camtschaticus* при получении кормовой добавки с хитином // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю. А. Овчинникова. 2015. Т. 11, № 1. С. 20–27.
4. Мезенова О. Я. Биопотенциал вторичного хитинсодержащего сырья и рациональные направления его использования // Известия КГТУ. 2023. № 69. С. 74–88. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-69-74-88.
5. Киселева М. В., Табакаева О. В., Каленик Т. К. и др. Процесс получения ферментативных гидролизатов из отходов переработки креветки северной // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49, № 4. С. 635–642. DOI: org/10.21603/2074-9414-2019-4-635-642.

6. Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., Мерзель Й.-Т. Исследование биопотенциала продуктов гидролиза отходов от разделки креветки белоногой *Penaeus Vannamei* // Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 223–231. DOI: org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-223-231.

7. Мезенова О. Я., Волков В. В., Мерзель Т., Grimm Т., Кюн С., Хелинг А., Мезенова Н. Ю. Сравнительная оценка способов гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья при получении протеинов и исследование их аминокислотной сбалансированности // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, № 4. С. 83–94.

8. Kuprina E. E., Kiprushkina E. I., Abramzon V., Rogozina E., Romanenko N. Y., Mezenova O. Y., Grimm T., Moersel J.-Th. Obtaining and study of peptide compositions based on hydrolysates of collagen-containing fish raw materials // Fermentation. 2023. Vol. 9, Iss. 5. P. 458. DOI: 10.3390/fermentation9050458.

9. Мезенова О. Я., Тишлер Д., Агафонова С. В., Мезенова Н. Ю., Волков В. В., Бараненко Д. А., Grimm Т., Ридель С. Исследование и рациональное применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 46–58.

10. Колмакова В. И., Колмакова А. А. Аминокислоты в перспективных кормах для аквакультуры рыб: обзор экспериментальных данных // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2020. № 13(4). С. 424–442. DOI: 10.17516/1997-1389-0332.

11. Мезенова Н. Ю., Байдалинова Л. С., Мезенова О. Я., Moersel J.-T., Hoeling A. Активные пептиды рыбной чешуи в гейнерах для спортивного питания // Вестник Международной академии холода. 2014. № 2. С. 48–52.

12. Гришин Д. В., Подобед О. В., Гладиллина Ю. А., Покровская М. В., Александрова С. С. 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. 20–31.

13. Kim S. K., Ngo D. H., Vo T. S. Marine fish-derived bioactive peptides as potential antihypertensive agents // Adv Food Nutr Res. 2012. № 65. P. 249–60.

14. Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Волков В. В., Калинина Н. С., Мерзель Т. Оценка питательной ценности комбикормов для лососевых с добавлением продуктов гидролиза шпротных отходов // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 32–47. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-32-4.

15. Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Мезенова Н. Ю., Волков В. В., Мезенова Н. Ю. Проектирование сбалансированных кормов для индустриальной аквакультуры с применением протеиновых гидролизатов побочного рыбного сырья // Рыбное хозяйство. 2021. № 4. С. 81–88.

16. Шахова Е.В. Морфофизиологическая характеристика молоди европейского сига (*Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758)), выпущенной в Куршский залив Балтийского моря в 2015 году // Вестник рыбохозяйственной науки. 2016. Т. 3, № 4(12). С. 28–34.

17. Shakhova E., Mezenova O., Romanenko N., Agafonova S., Volkov V., Kalinina N. and Ryanov D. Effect of inclusion of fish protein hydrolysate in diet for european whitefish (*coregonus lavaretus linnaeus*, 1758) juveniles on their hematological parameters // BIO Web of Conferences. Agro-Bio-Technologies. 2023. Vol. 64. DOI: org/10.1051/bioconf/20236401010.

Информация об авторах

О. Я. Мезенова – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой биотехнологии, Заслуженный работник рыбного хозяйства РФ, Заслуженный работник высшей школы России, академик Международной академии холода.

С. В. Агафонова – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии, член-корреспондент Международной академии холода.

Н. Ю. Романенко – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии, член-корреспондент Международной академии холода.

Н. С. Калинина – заведующий лабораториями кафедры пищевой биотехнологии.

В. В. Волков – директор Центра белка кафедры пищевой биотехнологии.

Вклад авторов

Мезенова О. Я. – подготовка статьи, анализ экспериментальных данных.

Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С. – проведение основных экспериментов.

Волков В. В. – анализ молекулярно-фракционного состава гидролизатов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

O. Ya. Mezenova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Bio-Technology, Honored Worker of the Fisheries of the Russian Federation, Honored Worker of the Higher School of Russia, Academician of the International Academy of Refrigeration.

S. V. Agafonova – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology, Corresponding Member of the International Academy of Refrigeration.

N. Yu. Romanenko – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology, Corresponding Member of the International Academy of Refrigeration.

N. S. Kalinina – Head of Laboratories of the Department of Food Biotechnology.

V. V. Volkov – Director of the Protein Center of the Department of Food Biotechnology.

Contribution of the authors

O. Ya. Mezenova – preparation of the article, analysis of experimental data.

S. V. Agafonova, Romanenko N. Yu., Kalinina N. S. – conducting basic experiments.

V. V. Volkov – analysis of the molecular fractional composition of hydrolysates.

The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 03.05.2024; одобрена после рецензирования 22.05.2024; принята к публикации 10.06.2024.

The article was submitted 03.05.2024; approved after reviewing 22.05.2024; accepted for publication 10.06.2024.