

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО
(Биологические науки)

Научная статья

УДК 639.3.043.2

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2025-73-14

EDN: TYTLLD

Использование протеинового гидролизата крабовых отходов в составе продукционного корма для радужной форели *Oncorhynchus mykiss*

Евгения Владимировна Шахова¹, Ольга Яковлевна Мезенова²,
Наталья Юрьевна Романенко³, Светлана Викторовна Агафонова⁴,
Владимир Владимирович Волков⁵, Наталья Сергеевна Калинина⁶

^{1–6} Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹ evgeniya.shakhova@klgtu.ru, ORCID 000-0003-0770-8602

² mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-4716-2571

³ nataliya.mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-7433-7189

⁴ svetlana.agafonova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-5992-414X

⁵ vladimir.volkov@klgtu.ru, ORCID 0000-0001-5560-7131

⁶ natalya.kalinina@klgtu.ru, ORCID 0000-0003-0942-5411

Аннотация. Рассматривается использование белкового гидролизата из отходов от разделки крабов в качестве компонента корма для радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*). Проведен эксперимент на базе предприятия ООО «ПРОМКОРМ», где сравниваются результаты кормления форели традиционным кормом на основе рыбной муки и кормом, включающим 5 % белкового гидролизата крабовых отходов вместо эквивалентного количества рыбной муки. В ходе эксперимента использовались методы биологического анализа, включая измерения основных параметров роста, таких как абсолютный прирост массы тела и удельная скорость роста, а также определение показателей выживаемости и морфофизиологических характеристик форели. Анализировались динамика длин тела и головы, массы тела и порки, а также внутренние органы – сердце, селезенка и печень. Проводились визуальные исследования наполненности желудочно-кишечного тракта и уровня ожирения. Результаты показали тенденцию к лучшему росту и улучшению физиологического состояния форели, питающейся кормом с добавлением гидролизата. Включение гидролизата в корм радужной форели способствовало увеличению прироста массы тела, удельной скорости роста рыб, массы тела, массы порки, зоологической и промысловый длины тела, длины тела по Смитту, но различия с контрольной группой были недостоверными. В эксперименте не было выявлено негативного влияния экспериментального гидролизата крабовых отходов на рост, выживаемость и морфофизиологические параметры исследованных рыб. Исследования морфофизиологических показателей выявили улучшение функционального состояния печени и селезёнки у рыб, получавших гидролизат. Также отмечено положительное воздействие гидролизата на соотношение мышечной ткани и жирового запаса. Подчеркивается необходимость дальнейших исследований для оценки возможного увеличения доли белкового гидролизата в корме для достижения еще большего эффекта.

Ключевые слова: радужная форель, установка замкнутого водоснабжения, белковый гидролизат крабовых отходов, абсолютный прирост, удельная скорость роста, гепатосоматический индекс, соматический индекс сердца и селезенки

Благодарности: исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального агентства по рыболовству по теме: «Получение биологически активных веществ из побочных и недовостребованных водных биологических ресурсов для рыбоводных и технических целей» (Рег. № 122030900082-3).

Для цитирования: Шахова Е. В., Мезенова О. Я., Романенко Н. Ю., Агафонова С. В., Волков В. В., Калинина Н. С. Использование протеинового гидролизата крабовых отходов в составе продуционного корма для радужной форели *Oncorhynchus mykiss* // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 73, № 3. С. 147–156

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2025. Vol. 73, no. 3. P. 147–156.

FISHERIES, AQUACULTURE, INDUSTRIAL FISHERIES (BIOLOGICAL SCIENCES)

Original article

Use of protein hydrolysate of crab waste in the composition of production feed for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*

Evgeniya V. Shakhova¹, Olga Ya. Mezenova², Natalya Yu. Romanenko³,
Svetlana V. Agafonova⁴, Vladimir V. Volkov⁵, Natalya S. Kalinina⁶

^{1–6} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ evgeniya.shakhova@klgtu.ru, ORCID 000-0003-0770-8602

² mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-4716-2571

³ nataliya.mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-7433-7189

⁴ svetlana.agafonova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-5992-414X

⁵ vladimir.volgov@klgtu.ru, ORCID 0000-0001-5560-7131

⁶ natalya.kalinina@klgtu.ru, ORCID 0000-0003-0942-5411

Abstract. The article discusses the use of a protein hydrolysate derived from crab processing waste as an ingredient in feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). An experiment was conducted at LLC "PROMKORM," where the results of feeding trout with traditional fishmeal-based feed were compared to those obtained when feeding them with a diet containing 5% protein hydrolysate from crab waste instead of an equivalent amount of fishmeal. The study employed biological analysis methods including measurements of key growth parameters such as absolute body weight gain and specific growth rate, along with determination of survival rates and morphophysiological characteristics of the trout. Parameters analyzed included changes in body length, head size, body mass, girth, internal organs like heart, spleen, and liver, visual examination of gastrointestinal tract fullness, and fat deposition levels. Results indicated a trend towards better growth performance and improved physiological condition among trout fed on diets supplemented with hydrolysate. Inclusion of hydrolysate into the feed resulted in increased body weight gain, specific growth rate, total body mass, dressed weight, zoological and commercial body lengths, Smith's body length measurement, although differences between groups were not statistically significant. No negative effects of the experimental hydrolysate on growth, survival or morphophysiological parameters were observed during the trial period. Morphophysiological studies revealed improvements in functional state of liver and spleen in fish receiving hydrolysate. Additionally, positive influence of hydrolysate on muscle tissue-to-fat ratio was noted. The article emphasizes the need for further research to assess potential benefits of increasing the proportion of protein hydrolysate in feeds to achieve greater efficacy.

Keywords: rainbow trout, closed water supply unit, protein hydrolysate of crab waste, absolute growth, specific growth rate, hepatosomatic index, somatic index of the heart and spleen

Acknowledgments: the research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Agency for Fisheries on the topic: "Obtaining biologically active substances from by-products and underutilized aquatic biological resources for fish farming and technical purposes" (Reg. No. 122030900082-3).

For citation: Shakhova E. V., Mezenova O. Ya., Romanenko N. Yu., Agafonova S. V., Volkov V. V., Kalinina N. S. Use of protein hydrolysate of crab waste in the composition of production

feed for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2025; 73(3): 147–156. (In Russ.).

Введение

Качественные сбалансированные и полноценные корма для форели *Oncorhynchus mykiss* являются важным условием успешного выращивания товарной рыбы. Ввиду того, что форель является хищной рыбой, для нее полноценными являются корма, которые содержат белки животного происхождения. Одним из лучших источников полноценных белков животного происхождения является рыбная мука. Однако в настоящее время качественная рыбная мука является дефицитным и дорогостоящим компонентом кормов. В настоящее время ведется постоянная работа по поиску новых компонентов, способных увеличить прирост рыбы, снизить затраты корма, улучшить физиологическое состояние выращиваемой рыбы и тем самым повысить рентабельность производства. Одним из таких альтернативных компонентов может быть белковый гидролизат из отходов рыбоперерабатывающих предприятий, в том числе и из отходов от разделки крабов. В белковом гидролизате содержится легко усваиваемый белок, требующий меньше времени и энергии для переваривания, что снижает нагрузку на желудочно-кишечный тракт, а также обеспечивающий высокую биодоступность аминокислот и содержащий минимальное количество аллергенов. Данный белок можно использовать для повышения белковой составляющей корма для рыб.

По разным источникам при переработке уловов крабов в РФ образуется от 30–50 до 80 % отходов [1–5]. С увеличением общего вылова краба, который, по данным РФ, на 2017 г. составил около 51 тыс. т [6] и продолжает расти, все более актуальной становится проблема утилизации и переработки отходов крабового промысла. Ввиду того, что отходы крабов в своем составе содержат такие высокоценные компоненты, как белок, хитин, липиды и минеральные элементы, возникает возможность их применения в качестве высоко гидролизованной композиции для включения в состав рыбных кормов. В связи с высоким содержанием белка (12,5 %) отходы от разделки крабов перспективно использовать в качестве сырья для получения белковых гидролизатов [3, 7–8].

Ранее рыбоводно-биологические исследования по оценке эффективности применения в кормах для радужной форели белковых гидролизатов крабовых отходов не проводились. Известны только работы по оценке рыбоводно-биологических параметров осетровых и лососевых рыб при включении в стартовые и продукционные комбикорма муки из крабов и крабового жира.

Принимая во внимание ранее изложенное, в 2023 г. на базе предприятия ООО «ПРОМКОРМ» были проведены эксперименты по определению эффективности включения белкового гидролизата крабовых отходов в состав продукционных кормов для радужной форели.

Целью рыбоводно-биологического исследования была оценка влияния белкового гидролизата крабовых отходов, вносимых в состав продукционного комбикорма, на рост и выживаемость радужной форели, выращиваемой на товар.

Объекты и методы исследований

Белковый гидролизат получали из мороженых отходов от разделки камчатских крабов *Paralithodes camtschaticus* (головогрудь, печень, карапакс, живот, гепатопанкреас). Для получения гидролизата сырье измельчали и подвергали высокотемпературному гидролизу в термомреакторе при температуре 130 °С и давлении 1,3–1,6 бар в течение 1 ч [9–11]. Стоимость полученного гидролизата на 10 % ниже стоимости 1 кг рыбной муки с содержанием белка 33–35 %. Кроме того, белковый гидролизат более легкоусвояемый, в сравнении с белками, содержащимися в рыбной муке, так как является фрагментированной формой протеина. В связи с чем высокая степень расщепления белка обеспечивает более высокую его доступность организму рыб.

Объектом исследования являлась радужная форель, выращенная в установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) на предприятии ООО «ПОЛЕКС-АКВА» (г. Калининград) и потреблявшая стартовые и производственные корма для форели производителя ООО «ПРОМКОРМ» (пос. Взморье Калининградской области).

Эксперимент по кормлению радужной форели проводили в течение 56 сут в рыбоводном цехе предприятия ООО «ПРОМКОРМ». Для эксперимента 100 экземпляров радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) средней массой 85,15 г были случайным образом разделены на две группы – контрольную и опытную. В каждой группе по 50 особей были посажены в стеклопластиковые бассейны ИЦА-1 объемом 1 м³ и полезной площадью 2 м² установки замкнутого водоснабжения при плотности посадки 25 экз./м². Условия содержания и обслуживания обеих групп радужной форели были идентичны. Расход воды составлял 3,6 м³/ч. Эксперимент проводился в двух повторностях.

Во время эксперимента контрольная группа рыб питалась кормом на основе рыбной муки. В опытной группе рыба потребляла корм, в состав которого был введен белковый гидролизат крабовых отходов в количестве 5 % взамен 5 % рыбной муки. В течение эксперимента контрольную и опытную группу рыб кормили вручную три раза в день, с нормой кормления 2 % от общей биомассы. Суточную дозу кормления определяли на основе кормовых таблиц для корма Aller Bronze по рекомендации фирмы-изготовителя. Основные компоненты комбикормов (содержание воды, белка, жира, золы) определяли по ГОСТ 7636.

Температуру воды в бассейнах УЗВ, концентрацию растворенного в воде кислорода и pH воды измеряли ежедневно термоксиметром HANDY POLARIS-2 и pH-метром PH-061.

В первый и последний день эксперимента по кормлению радужной форели испытуемыми кормами проводили биологический анализ со вскрытием особей. Определяли рыбоводные и морфофизиологические показатели, которые характеризуют эффективность применения белкового гидролизата крабовых отходов в составе комбикормов.

Рост форели оценивали по абсолютному приросту и удельной скорости роста. Отход форели учитывали ежедневно методом прямого учета.

В ходе эксперимента при проведении биологического анализа изучали морфологические и физиологические показатели у объекта исследования – радужной форели. Оценивали динамику длин тела и головы, массы тела и порки, а также внутренних органов – сердца, селезенки и печени. Визуализированными исследованиями определяли наполнение желудочно-кишечного тракта по шестибалльной шкале и ожирение по четырехбалльной шкале. Определяли динамику индексов внутренних органов (соматический индекс сердца, гепатосоматический индекс, индекс селезенки). Морфологические и физиологические исследования, а также биологический анализ проводили общепринятыми методами [12].

Статистическую обработку данных выполняли по общепринятыми методикам, а также с помощью программного пакета «Microsoft Excel 10.0». Определяли следующие параметры признаков: среднеарифметические значения (M); ошибка (m); среднеквадратичное отклонение (σ). Для подтверждения достоверности различий использовали U-критерий Манна-Уитни при уровне значимости $p < 0,05$ [13].

Результаты и их обсуждение

Оптимальная температура воды в бассейнах для роста радужной форели на искусственных кормах составляет 14–18 °С. При температуре воды более 20 °С интенсивность питания радужной форели ослабевает, при 25 °С она почти не берет корм. В период эксперимента форель активно питалась, так как среднесуточная температура воды в контрольных и опытных бассейнах была одинаковой и поддерживалась на уровне $12 \pm 1,4$ °С. Содержание кислорода в воде бассейнов установки замкнутого водоснабжения находилось в пределах нормы и обеспечивало нормальный рост рыбы. Уровень растворенного кислорода был зарегистрирован на

уровне $8,5 \pm 1,0$ мг/л. Значения водородного показателя на протяжении всего периода эксперимента находились у верхней оптимальной границы и не превышали ее значение, равное 8,0.

Общий химический состав контрольного и опытного корма представлен в табл. 1.

Таблица 1

Общий химический состав кормов, использованных в кормлении форели

Table 1

General chemical composition of feed used in trout feeding

Корм	Химический состав, %				
	Вода	Жир	Белок	Зола	Углеводы (по разнице)
Контрольный	3,02	17,39	31,95	14,97	32,67
Опытный	3,22	16,84	33,06	15,26	31,62

Из данных табл. 1 следует, что внесение белкового гидролизата в базовую рецептуру комбикорма повышает содержание белка с 31,95 до 33,06 %. При этом в опытной рецептуре увеличивается массовая доля минеральных веществ (золы) и воды, а также снижается доля жира и углеводов относительно данных показателей в контрольной рецептуре.

Клиническое исследование радужной форели из обеих групп не выявило внешних патологических нарушений в конце эксперимента. У рыб, участвующих в исследовании, отсутствовали аномалии внешнего строения, не обнаружены кровоизлияния на кожном покрове, а также некрозные проявления.

Полученные промеры при взвешивании и вскрытии радужной форели в двух повторностях как в начале, так и в конце эксперимента не имели между собой достоверных различий по всем исследуемым показателям. Отсутствие достоверных различий между повторностями позволило нам объединить данные двух повторностей и сравнить контрольную группу рыб с опытной группой.

В первый день эксперимента средняя масса тела взятой на исследование радужной форели в обеих группах рыб была $85,15 \pm 7,32$ г, (табл. 2), а масса порки – $71,69 \pm 6,22$ г.

Таблица 2

Рыбоводные показатели сравнительного выращивания радужной форели с применением контрольного и экспериментального корма с белковым гидролизатом крабовых отходов

Table 2

Fish farming indicators of comparative rearing of rainbow trout using control and experimental feed with protein hydrolysate from crab waste

Показатели	Эксперимент		
	Начало		Окончание
	Контрольная группа	Контрольная группа	Экспериментальная группа
Масса тела, г	$85,15 \pm 7,32$	$131,27 \pm 17,38$	$145,47 \pm 16,69$
Абсолютный прирост массы тела, г	-	$46,12 \pm 9,02$	$60,32 \pm 8,01$
Удельная скорость роста Specific Growth Rate (SGR), %/сут	-	$1,22 \pm 0,97$	$1,54 \pm 0,71$
Выживаемость, %	-	$95,41 \pm 1,13$	$98,68 \pm 0,07$
Длительность выращивания, сут	-	56	56

К концу эксперимента масса тела рыб увеличилась и составила в контрольной группе $131,27 \pm 17,38$ г, в опытной – $145,47 \pm 16,69$ г. Средняя масса порки в конце эксперимента у исследованных рыб составила в контрольной группе $112,41 \pm 15,08$ г, в опытной – $125,77 \pm 14,73$ г. Эти данные говорят об активном росте рыб на обоих испытуемых кормах. Средняя масса тела и порки радужной форели, потребляющей корм, в состав которого был введен гидролизат крабовых отходов в количестве 5 %, была выше, чем масса радужной форели, потребляющей корм на основе рыбной муки, однако различия по массе между исследуемыми группами рыб были не достоверны.

Абсолютный прирост массы тела радужной форели, потребляющей контрольный корм, составил $46,12 \pm 9,02$ г, а рыбы, потребляющей корм, в состав которого был введен гидролизат крабовых отходов в количестве 5 %, оказался больше на $14,20$ г и составил $60,32 \pm 8,01$ г (см. табл. 2). Различия между контрольной и опытной группой рыб по данному показателю были не достоверны, тенденция к более высокому массонакоплению в опытной группе прослеживалась.

Удельная скорость роста особей радужной форели опытной группы в период исследования тоже была выше, в сравнении с контрольной, и составила $1,54 \pm 0,71$ %/сут против контрольной группы – $1,22 \pm 0,97$ %/сут. Процентное изменение массы тела радужной форели из опытной группы за каждые сутки периода исследования было выше, чем у радужной форели из контрольной группы, а, следовательно, рост был активнее.

Выживаемость радужной форели в период эксперимента составила в контрольной и опытной группах $95,41 \pm 1,13$ и $98,68 \pm 0,07$ % соответственно. Отход рыбы был зафиксирован на второй день эксперимента, что, вероятнее всего, было связано с транспортировкой рыбы и стрессом во время пересадок в бассейны. В остальной период эксперимента гибели радужной форели не отмечалось.

К концу эксперимента у контрольной и опытной групп в сравнении с началом эксперимента зафиксировано увеличение значений зоологической и промысловой длин тела, а также длины головы.

Длина тела зоологическая в среднем составляла 19,86 см в начале эксперимента. К концу исследования этот показатель увеличился в обеих группах до 22,48 см. Диапазон колебаний был разный. В контроле обнаружена форель длиной 21,0–25,2 см, а в опыте – 19,5–25,0 см.

Длина тела промысловая в начале исследования составляла 17,8 см (среднее значение). К концу исследования данный показатель увеличился в контрольной группе до среднего показателя 19,7 см, в опытной группе до 20,96 см (среднее значение). Диапазон колебаний промысловой длины составил в контроле 17,5–22,0 см, а в опыте 19,0–23,0 см.

Несмотря на то, что средний показатель промысловой длины рыб из опытной группы несколько выше показателя промысловой длины рыб из контрольной группы, статистически различия между значениями были не достоверны.

Значения температуры воды, находящиеся в период выращивания радужной форели ниже оптимального диапазона, отразились на ее скорости роста. При оптимальных температурных показателях скорость роста объекта исследования могла быть выше. Однако радужная форель обеих групп в период исследования находилась в одинаковых условиях выращивания (температурных и гидрохимических), следовательно, эти параметры оказывали одинаковое влияние на рыб и позволили оценить влияние на рыбоводно-биологические и морфофизиологические показатели включения белкового гидролизата крабовых отходов в корм для радужной форели.

Следует отметить, что в период выращивания радужная форель активно питалась, охотно потребляя корма. Вскрытие при контрольных обловах показало, что балл наполнения желудочно-кишечного тракта варьировал в пределах 2–4. Ожирение отмечалось у всех особей, подвергшихся вскрытию в период эксперимента, с колебаниями от 1 до 3 баллов. На начало эксперимента показатель ожирения составил 1 балл. К концу эксперимента он увеличился в контрольной группе рыб до 3 баллов, а в опытной группе до 2 баллов. Из чего следует, что накопление внутриполостного жира у радужной форели контрольной группы было более активным. При этом у опытной группы

рыб наблюдалась положительная аллометрия по соотносительному росту мышц к внутривосточным жировым отложениям на фоне изменений, связанных с более активным ростом массы порки, которая у опытной группы была несколько выше.

Вскрытие рыбы в период контрольных обловов показало, что внешний вид внутренних органов соответствовал норме. Печень была плотной, цельной, равномерно окрашена и имела темно-бурый цвет. Сердце и селезенка также имели цельную структуру и бурый цвет.

Сердце – орган, от нормальной работы которого зависит функционирование всего организма. Всякое изменение деятельности организма возможно лишь при условии, если сердце сможет обеспечить эту деятельность. Поэтому вес сердца, как правило, варьирует заметно больше, чем вес всего тела [15].

Соматический индекс сердца показывает, во сколько раз вес сердца меньше веса тела. В начале эксперимента данный показатель у исследованной радужной форели имел среднее значение $0,17 \pm 0,01$ % и колебался в диапазоне 0,14–0,20 % (табл. 3). К концу эксперимента данный показатель уменьшился в контрольной и опытной группах до $0,14 \pm 0,01$ и $0,16 \pm 0,01$ % соответственно, что связано с различиями в скорости роста, которая у опытной группы рыб была выше. В связи с этим в опытной группе диапазон колебаний соматического индекса сердца составил 0,11–0,18 %, а в контрольной – 0,11–0,17 %. Достоверных различий по соматическому индексу сердца между контрольной и опытной группами обнаружено не было. Весь период исследования как в начале, так и в конце эксперимента значения индекса сердца в контрольной и опытной группах были в рамках диапазона референсных значений (0,10–0,24 %), что говорит об отсутствии нагрузки на орган внешних факторов и его стабильном функционировании.

Соматический индекс селезенки у исследованной радужной форели в начале эксперимента колебался в диапазоне 0,06–0,13 % и составил в среднем $0,09 \pm 0,01$ % (табл. 3). Данные значения показателя находятся ниже грани диапазона референсных значений (0,17–0,28 %). В конце исследования в контрольной группе радужной форели не зафиксировано изменения соматического индекса селезенки, а в опытной группе данный показатель стал выше, приблизившись к референсным значениям.

Таблица 3

Органо-соматические показатели сравнительного выращивания годовиков форели с применением контрольного и экспериментального корма с белковым гидролизатом крабовых отходов

Table 3

Organo-somatic indicators of comparative rearing of trout yearlings using control and experimental feed with protein hydrolysate of crab waste

Показатели	Эксперимент		
	Начало		Окончание
	Контрольная группа	Контрольная группа	Экспериментальная группа
Гепатосоматический индекс, %	$1,92 \pm 0,09$	$1,99 \pm 0,13$	$1,54 \pm 0,16$
Соматический индекс сердца, %	$0,17 \pm 0,01$	$0,14 \pm 0,01$	$0,16 \pm 0,01$
Соматический индекс селезенки, %	$0,09 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,02$

Колебания соматического индекса селезенки в контрольной группе находились в диапазоне 0,06–0,11 %, а в опытной – 0,08–0,20 %, что свидетельствует об улучшении физиологического состояния форели из опытной группы. Из всех внутренних органов рыб селезенка наиболее сильно реагирует на пищевой фактор и быстро меняет объем под влиянием внешних условий и состояния рыбы. Любое отклонение от нормы, в большую или меньшую сторону, свидетельствует о сбоях в работе организма [15]. Чем ниже уровень соматического индекса

селезенки относительно нормы для форели 0,17–0,28 %, тем хуже ее физиологическое состояние. У исследованной радужной форели в начале эксперимента был обнаружен заниженный уровень соматического индекса селезенки, что может говорить о потреблении рыбой до начала эксперимента неполноценного и несбалансированного корма, повлиявшего на объем селезенки. Следует отметить, что морфофизиологическое состояние радужной форели, потреблявшей корм, в состав которого был введен гидролизат крабовых отходов в количестве 5 %, улучшилось, в сравнении с контрольной группой рыб.

Печень у радужной форели, перешедшей на активное питание, в отличие от некоторых других видов рыб, не является местом депонирования энергетических ресурсов [16]. Жировые запасы у радужной форели интенсивно накапливаются в мышцах и полости тела, что мы и наблюдали в своих исследованиях.

Среднее значение гепатосоматического индекса у исследованной радужной форели составило в начале эксперимента $1,92 \pm 0,01$ % и колебалось в диапазоне 1,73–2,23 %. Данные значения гепатосоматического индекса выше референсных значений, характерных для данной возрастной группы рыб 1,0–1,5 %. Увеличенный индекс печени у радужной форели, вместе с накапливающимся внутриполостным жиром, может свидетельствовать об увеличении общего жира в составе используемого корма или перекорме рыбы.

В конце эксперимента в контрольной группе радужной форели гепатосоматический индекс в среднем составил $1,99 \pm 0,13$ % и колебался в пределах 1,75–2,30 % (см. табл. 3), что также выше референсных значений. При этом в опытной группе радужной форели было зафиксировано снижение данного показателя до среднего значения $1,54 \pm 0,16$ %. Диапазон колебания составил 1,36–1,93 %. Однако данные значения тоже были выше референсных значений. Достоверных различий между контрольной и опытной группами рыб по гепатосоматическому индексу обнаружено не было, однако физиологическое состояние печени в опытной группе к концу эксперимента улучшилось. Различия связаны с меньшим процентным содержанием общего жира в составе опытного корма, более активным ростом радужной форели в опытной группе и, как следствие, более интенсивной тратой энергетических запасов в их организме.

Заключение

Включение белкового гидролизата, полученного из отходов от разделки камчатского краба, в количестве 5 % вместо 5 % в экспериментальный рацион радужной форели в определенной степени оказалось стимулирующий эффект на рост рыбы. Полученные данные по абсолютному приросту массы тела и удельной скорости роста свидетельствуют о наличии тенденции к активному росту. При этом в эксперименте не было выявлено негативного влияния экспериментального гидролизата крабовых отходов на рост, выживаемость и морфофизиологические параметры исследованных рыб.

По изменениям показателей гепатосоматического индекса и соматического индекса сердца в контрольной и опытной группах была также отмечена тенденция к более активному росту в опытной группе. Гепатосоматический индекс в опытной группе составил 1,54 %, по сравнению с аналогичным показателем в контрольной группе 1,99 % в конце исследования, что связано с более активной тратой питательных веществ на прирост рыбы, который у опытной группы был несколько выше. При этом значения соматического индекса селезенки характеризуют физиологическое состояние радужной форели из опытной группы как лучшее, чем у форели из контрольной группы.

Это означает, что имеет место эффективность ввода в состав корма для радужной форели белкового гидролизата крабовых отходов в количестве 5% взамен эквивалентного количества рыбной муки при более длительном выращивании. А также необходимы исследования по возможному увеличению процента белкового гидролизата крабовых отходов, который может оказать более активное влияние на рост радужной форели.

Список источников

1. Биотехнология кормовых ферментолизатов с аминополисахаридами из отходов от разделки камчатского краба рода *PARALITHODES* / А. В. Подкорытова, Т. А. Игнатова, Т. В. Родина, Н. Г. Строкова // Биотехнология и качество жизни : материалы Международной научно-практической конференции 18–20 марта 2014 г. М. : ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. С. 298–299.
2. Seafood waste: a source for preparation of commercially employable chitin / chitosan materials / M. Yadav, P. Goswami, K. Paritosh et al. // Bioresour. Bioprocess. 2019. Vol. 6, № 8. DOI.org/10.1186/s40643-019-0243-y.
3. 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.
4. Исследование процесса автопротеолиза отходов от разделки синего краба (*Paralithodes platypus*) / С. Н. Максимова, Д. В. Полещук, К. К. Верещагина и др. // Пищевая промышленность. 2021. № 7. С. 20–23. DOI: 10.52653/PPI.2021.7.7.002.
5. Перспективы биомодификации отходов от разделки синего краба *Paralithodes platypus* / С. Н. Максимова, Д. В. Полещук, К. К. Верещагина Е. М. Панчишина, Е. В. Суровцева // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2020. № 3(78). С. 14–23.
6. Статистические сведения по рыбной промышленности России 2016–2017 гг. М. : ФГУП «ВНИРО», 2018. 75 с.
7. Пат. 2615476 RU. Способ переработки отходов крабового производства с получением кормовой добавки / Игнатова Т. А., Родина Т. В., Подкорытова А. В., Красюкова О. В. (РФ). 2015145012/13; заявл. 20.10.15; опубл. 04.04.17, Бюл. № 10. С. 10.
8. Потенциал вторичных ресурсов камчатского краба как технологически ценного сырья / С. Н. Максимова, Д. В. Полещук, Е. В. Суровцева, К. К. Верещагина, А. В. Милованов // Индустрия питания. 2019. Т. 4, № 4. С. 30–36. DOI 10.29141/2500-1922-2019-4-4-4.
9. Сравнительная оценка способов гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья при получении протеинов и исследование их аминокислотной сбалансированности / О. Я. Мезенова, В. В. Волков, Т. Мерзель, Т. Гримм, С. Кюн, А. Хелинг, Н. Ю. Мезенова // 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>.
10. Bioconversion of shrimp waste *Penaeus merguiensis* using lactic acid fermentation: an alternative procedure for chemical extraction of chitin and chitosan / F. Sedaghat, M. Yousefzadi, H. Toiserkani, S. Najafipour // Int. J. Biol. Macromol. 2017. Vol. 104. Pp. 883–888. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2017.06.099.
11. Перспективы переработки гепатопанкреаса камчатского краба / Т. Пономарева, М. Тимченко, М. Филиппов, С. Лапаев, Е. Согорин // Фундаментальная и прикладная биохимия ФИЦ «Пущинский научный центр биологических исследований РАН». Опубл. 2.01.2021. URL: <https://www.mdpi.com/2313-4321/6/1/3> (дата обращения : 18.06.2023).
12. Основы ихтиологии: сборник классических методов ихтиологических исследований для использования в аквакультуре / Г. К. Плотников, Т. Ю. Пескова, А. Шкуте [и др.]. Даугавпилс : Сауле, 2018. 253 с.
13. Алгоритмы биологической статистики : учеб.-метод. пособие / сост. С. П. Кожевников. Ижевск : Изд. центр «Удмуртский университет», 2018. 75 с.
14. Currie S., Evans D.H. The Physiology of Fishes. Boca Raton: CRC Press. 2020. 5th Edition. 256 p.
15. Soler-Vila A., Coughlan S., Guiry M. D. The red alga, *Porphyra dioica*, as a fish-feed ingredient for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* effects on growth, feed efficiency, and carcass composition // J. Appl. Phycol. 2009. Vol. 21. P. 617–624.

16. Факторович К. А. Об особенностях жирового обмена в печени некоторых видов рода *Salmo* в связи с различиями их биологии // Обмен веществ и биохимия рыб. М. : Наука, 1967. С. 112–117.

Информация об авторах

Е. В. Шахова – кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры.

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.

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

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

В. В. Волков – директор Центра передовых технологий использования белков кафедры пищевой биотехнологии.

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

Information about the authors

E. V. Shakhova – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture.

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

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

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

V. V. Volkov – Director of the Center for Advanced Technologies for the Use of Proteins, Department of Food Biotechnology.

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

Вклад авторов: Е. В. Шахова – организация и участие в основных экспериментах по оценке биологическим показателям, подготовка статьи; О. Я. Мезенова – анализ экспериментальных данных, подготовка статьи, С. В. Агафонова, Н. Ю. Романенко, Н. С. Калинина, В. В. Волков – подготовка добавок, кормов и проведение экспериментов по выращиванию рыб.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: E. V. Shakhova – organization and participation in the main experiments on the assessment of biological indicators, preparation of the article; O. Ya. Mezenova – analysis of experimental data, preparation of the article, S. V. Agafonova, N. Yu. Romanenko, N. S. Kalinina, V. V. Volkov – preparation of additives, feeds and experiments on fish farming.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 07.07.2025; одобрена после рецензирования 20.07.2025; принята к публикации 09.09.2025.

The article was submitted 07.07.2025; approved after reviewing 20.07.2025; accepted for publication 09.09.2025.