

Научная статья

УДК 639.3.043.2

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-754-766

EDN: LEXDTA



**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА СТАРТОВЫХ КОРМОВ
И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МОЛОДИ КЕТЫ *ONCORHYNCHUS KETA***

**Ю.Н. Кузнецов, Е.П. Карапурова, А.Н. Баштова, Г.Н. Тимчишина,
Т.Н. Слуцкая***

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. В результате сравнительных исследований состава экструдированных стартовых кормов, полученных из животного, растительного сырья и продуктов на основе микробиологического синтеза, установлено, что они содержат 19–32 % углеводов, 10–11 % липидов, 7–9 % минеральных веществ, 47–56 % белка при влажности 3–6 %. Водорастворимые белки кормовых добавок, применяемых в рецептурах кормов, содержат от 30 (гаприн) до 98 % (ферментолизат рыбный) биологически активных пептидов с молекулярной массой (ММ) 1–10 кДа. Исследование молекулярно-массового состава водорастворимой части белков комбикормов, используемых при кормлении кеты, показало, что количество пептидов с ММ 1–10 кДа зависит от вида кормовых добавок и составляет 18–56 % от водорастворимого белка. Наибольшая эффективность стартовых комбикормов, определяемая по конечной массе, выживаемости, абсолютному приросту мальков и кормовому коэффициенту, на Рязановском экспериментально-производственном рыбоводном заводе (РЭПРЗ) установлена для варианта с содержанием биологически активных пептидов около 56 %.

Ключевые слова: стартовые корма, мальки кеты, биологически активные пептиды, рыбоводные испытания, молекулярная масса

Для цитирования: Кузнецов Ю.Н., Карапурова Е.П., Баштова А.Н., Тимчишина Г.Н., Слуцкая Т.Н. Исследование состава стартовых кормов и эффективность их использования для выращивания молоди кеты *Oncorhynchus keta* // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 754–766. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-754-766. EDN: LEXDTA.

* Кузнецов Юрий Николаевич, кандидат технических наук, заведующий отделом, iuri.kuznetsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0009-2352-2593; Карапурова Екатерина Павловна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ekaterina.karaulova@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-8508-9603; Баштовой Александр Николаевич, кандидат технических наук, заведующий сектором, aleksandr.bashtovoi@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-1398-3547; Тимчишина Галина Николаевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, galina.timchishina@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8889-8657; Слуцкая Татьяна Ноевна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, tatiana.slotskaia@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-3228-3047.

A study on composition of starter feeds and effectiveness of their use for growing fry of chum salmon *Oncorhynchus keta*

Yury N. Kuznetsov^{1*}, Ekaterina P. Karaulova^{2*}, Alexander N. Bashtovoy^{3*}, Galina N. Timchishina^{4*}, Tatyana N. Slutskaya^{5*}

^{1*-5*} Pacific branch of VNIRO (TINRO), Shevchenko Alley, 4, Vladivostok, 690091, Russia

^{1*} Ph.D., head of department, iurii.kuznetsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0009-2352-2593

^{2*} Ph.D., leading researcher, ekaterina.karaulova@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-8508-9603

^{3*} Ph.D., head of sector, aleksandr.bashtovoi@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-1398-3547

^{4*} Ph.D., leading researcher, galina.timchishina@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8889-8657

^{5*} D.Tech., professor, principal researcher, tatiana.slutskaya@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-3228-3047

Abstract. Low molecular weight peptides in the fish feed can enhance growth of fish fry. The protein-containing components of such feeds as raw and hydrolyzed fish, fly larvae, haprin, hydrolyzed yeast, and experimental extruded starter feeds are examined. The extruded feeds (KRLS-1, KRLS-2, KRLS-3, and EF) were produced by another branch of VNIRO (VNIPRH) on the Amandus Kahl pilot production line (Germany). The contents of moisture, mineral fraction, water-soluble proteins and lipids were assessed using standard analytical procedures and the nitrogen content was measured by Kjeldahl method. Protein fractionation was performed using high-performance chromatography. On these data, daily rations of fry were calculated. Mortality of fry was determined by direct counting. Absolute weight gain was calculated as the difference between final and initial weights of fry. The feed coefficient was calculated as the total amount of feed consumed during the 60-day rearing divided by the weight gain, corrected for mortality. Fish farming tests were conducted according to the standard protocol. The examined starter feeds contained 3.5–6.0 % moisture, approximately 50 % protein, 10–11 % lipids, up to 9 % minerals, and 20–30 % carbohydrates. The hydrolysate from raw fish had the highest portion of low molecular weight peptides (1–10 kDa) — 98 % of the water-soluble protein fraction. Hydrolyzed yeast, fly larvae, and haprin contained 96, 51, and approximately 30 % of low molecular weight peptides, respectively. The extruded feeds were well-balanced and contained substantial amounts of low molecular weight peptides, with the highest content for KRLS-3 (55 %) due to its heightened hydrolysate fraction, whereas KRLS-1, KRLS-2, and EF contained 49, 18, and 35 % low molecular weight peptides, respectively (relative to the water-soluble protein fraction). The fish farming tests demonstrated that the fry fed with KRLS-3 starter feed had the biggest final weight (0.830 g) and the highest mean daily weight gain (1.45 %), with the lowest feed conversion ratio (0.88). The feeds KRLS-1 and KRLS-2 showed comparable results. The feed EF was less effective by growth parameters but provided the best survival of fry (98.9 %, compared to 97.0 % for KRLS-3). All tested starter feeds are quite suitable for industrial rearing of chum salmon fry.

Keywords: starter feed, salmon fry, biologically active peptide, fish farming, molecular weight

For citation: Kuznetsov I.N., Karaulova E.P., Bashtovoy A.N., Timchishina G.N., Slutskaya T.N. A study on composition of starter feeds and effectiveness of their use for growing fry of chum salmon *Oncorhynchus keta*, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 754–766. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-754-766. EDN: LEXDTA.

Введение

Исследования по разработке стартовых кормов для тихоокеанских лососевых показали, что с учетом особенностей питания мальков их пища на начальном этапе развития должна содержать достаточно высокое количество легкоусвояемых пептидов [Гамыгин, 1987; Пономарев, Пономарева, 2003]. На практике это находит подтверждение в работах, посвященных сравнительному анализу ихтиологических показателей мальков не только лососевых, но и других рыб [Остроумова и др., 2018], продемонстрировавших эффективность кормов, содержащих высокое количество пептидных фракций. Особое внимание при этом уделяется низкомолекулярным пептидам [Гро-

зеску, 2016; Остроумова и др., 2018;], которые проявляют различные положительные физиологические свойства [Islam et al., 2022].

В области фармакологии пептиды известны достаточно давно: в 1980–1990-е гг. в научной литературе была описана серия пептидных комплексов, выделенных из различных органов животных и обладающих тканеспецифическим действием [Хавинсон, 2020].

К настоящему времени во многих работах приведены результаты, описывающие положительное участие коротких пептидов в таких физиологических процессах, как рост и развитие организма, стресс, регуляция эмоционального поведения, а также в иммунных реакциях [Хавинсон и др., 2016; Иванов, Дейгин, 2023].

Способ использования коротких пептидов заключается в выделении соответствующих компонентов из органов и тканей животных. После установления их аминокислотного состава возможен синтез аналогов — ди-, три-, тетрапептидов и олигопептидов [Пат. RU 2503684 С2]. Биологические испытания на животных, а также клинические исследования на людях показали эффективность таких препаратов, которая заключается в нормализации многих функций организма — когнитивной активности, стрессо-устойчивости, микроциркуляции крови, метаболизма клеток и др. [Журкович и др., 2020]. В последнее десятилетие в России появился ряд запатентованных препаратов, которые содержат короткие пептиды и применяются в практической медицине [Прозоровский и др., 2018; Пат. RU 2767532 С1; Пат. RU 2778505 С1].

Исследования фракционного состава белков различных видов зоопланктона (науплиусы, хирономиды, олигохеты, гаммарусы), являющихся естественным кормом для рыбной молоди в природной среде обитания, выявили высокое содержание водорастворимых белковых веществ — от 45 до 70 % по отношению к массе белка. Основную часть этих экстрактивных веществ составляли пептиды с молекулярной массой от 1,0 до 1,3 кДа — для мелкого пресноводного зоопланктона и от 1,3 до 10,0 кДа — для крупного планктона [Пономарев, 1995; Пономарев, Пономарева, 2003]. Очевидно, что уровень содержания пептидных фракций с молекулярными массами до 10 кДа в составе стартовых комбикормов является главным показателем при оценке их эффективности.

С учетом представленных выше результатов исследований содержание пептидов различных молекулярных фракций в составе кормовых компонентов и готовых комби-кормов является важной составляющей для оценки кормовых продуктов.

В настоящее время технология получения кормов основана на экспериментальном подборе количества кормовых компонентов, которые могут быть источниками физиологически активных пептидов. В состав стартовых кормов, как правило, включают компоненты растительного и животного происхождения, производство которых является массовым.

Основным белковым компонентом кормов является рыбная мука, пищевая ценность которой зависит от состава и качества исходного сырья, условий получения, хранения и транспортировки [Желтов, 2006].

Альтернативным источником азотсодержащих веществ белкового происхождения могут быть кормовые продукты микробиологического синтеза, в частности гаприн. Он характеризуется высоким содержанием белковых веществ, в том числе водорастворимых, однако его состав вариабелен из-за особенностей конкретных производств [Остроумова и др., 1989; Судакова, 1998]. Преимуществом таких продуктов по сравнению с рыбной мукой является их относительно низкая цена.

Наряду с гаприном перспективным источником белка можно считать продукты культивирования отдельных видов насекомых, в частности концентрат личинки черной львинки [Лиман и др., 2021].

Все указанные выше белковые компоненты имеют различный состав пептидов, что необходимо учитывать при создании рецептур стартовых кормов. Чтобы повысить

степень их усвоемости, может применяться ферментация, что приводит к изменению молекулярных масс и способствует повышению в конечном продукте доли низкомолекулярных пептидов, благотворно влияющих на рост и выживаемость мальков рыб [Mukherjee et al., 2016; Dawood, Koshio, 2020]. Поэтому в рецептуры стартовых кормов могут включаться разные гидролизаты (рыбного белка, дрожжей), в которых белок уже превращен в пептиды различной молекулярной массы.

Можно утверждать, что при создании рецептур стартовых кормов для лососевых важным этапом является исследование молекулярно-массового состава белковой части исходных кормовых компонентов и готовых продуктов.

Цель данной работы — исследование молекулярно-массового состава белковой части основных компонентов стартовых кормов, готовых композиций, их содержащих, а также установление эффективности выбранных вариантов при выращивании мальков кеты.

Материалы и методы

Комплекс работ, представленных в статье, является неотъемлемой частью системных исследований по изучению питательной, биологической ценности перспективных видов сырья, входящего в состав комбикормов для различных объектов аквакультуры Российской Федерации, с учетом их видовой, возрастной специфики и технологий выращивания. Экспериментальные рецепты стартовых экструдированных комбикормов для тихоокеанских лососей серии КРЛС были смоделированы на основании аналитических данных по питательной и биологической ценности компонентов и расчета сбалансированности с помощью компьютерной программы «Оптима Эксперт» (ООО «КормоРесурс»).

Все экспериментальные комбикорма были произведены в научно-производственном отделе по изготовлению комбикормов для объектов аквакультуры ВНИИПРХ (филиала ВНИРО) на опытно-производственной линии Amandus Kahl (Германия).

Для оценки молекулярно-массового распределения низкомолекулярных белков и пептидов использовали следующие варианты комбикормов: КРЛС-1, КРЛС-2, КРЛС-3 и ЭФ. Основными компонентами всех исследованных комбикормов являются мука рыбная и пшеничная, рыбный жир. В качестве дополнительных источников белка использованы рыбный ферментолизат, белковый концентрат из личинки черной львинки, микробный белок гаприн, дрожжи гидролизные. Соотношение указанных компонентов в комбикормах варьирует:

- рыбной муки в образце ЭФ — 44,3 %; в образцах КРЛС — от 41,2 до 61,0 %;
- пшеничной муки в образце ЭФ — не более 27 %; в образцах КРЛС — от 7,7 до 9,1 %;
- рыбного жира во всех исследованных комбикормах — от 2,7 до 4,5 %.

Премиксы, витамины и другие кормовые компоненты присутствуют в составе каждого исследованного комбикорма, их количество составляет от 0,01 до 3,50 %.

Стартовые корма КРЛС различных вариантов имели примерно равное содержание белка. Дополнительные источники белка были включены в состав следующих образцов:

КРЛС-1: ферментолизат рыбный (6 %), гаприн (5 %);

КРЛС-2: гаприн (30 %);

КРЛС-3: ферментолизат рыбный (9,4 %), белковый концентрат личинки черной львинки (5,0 %).

Экспериментальный образец ЭФ содержит дрожжи гидролизные — 10 %.

Объектом и материалом рыбоводно-биологических исследований служила молодь лососевых (*Oncorhynchus keta*), инкубированная на Рязановском экспериментально-производственном рыбоводном заводе (Рязановский ЭПРЗ) (Приморский край, Хасанский район, с. Рязановка) после подъема на плав.

Параметры для проведения рыбоводно-биологических испытаний комбикормов представлены в табл. 1.

Таблица 1
Параметры рыбоводно-биологических испытаний комбикормов для молоди лососевых
Table 1
Examined parameters of starter feeds for salmon juveniles

Наименование параметра	Характеристика
Место проведения экспериментов	Приморский край, Хасанский район, с. Рязановка, Приморский филиал Главрыбвода, ЭПРЗ «Рязановский»
Шифр испытываемых комбикормов	КРЛС-1, КРЛС-2, КРЛС-3, ЭФ
Объект исследования	Молодь кеты
Средняя начальная масса, г	0,349 ± 0,080
Количество молоди в бассейне, шт.	5000
Плотность посадки, шт./м ³	1560
Условия содержания молоди:	
– система выращивания	Установка замкнутого водоснабжения
– водообмен	15 л/мин
– размер емкостей	200×200×80 см
– объем бассейна	3,2 м ³
– количество емкостей для каждого варианта опыта	1
– всего емкостей	5
Нормы кормления	Рассчитывают в зависимости от массы тела рыб и температуры воды
Способ кормления	Ручной
Условия выращивания (кормления):	
– температура, °С	2,2–4,4
– содержание кислорода в воде, % насыщения	Не менее 82–94
– периодичность контроля	Ежедневно
Периодичность контроля биологических показателей:	
– масса тела	1 раз в 10 дней
– отход	Ежедневно
Продолжительность экспериментов	60 сут
Рыбоводные показатели, по которым проведена оценка воздействия	Выживаемость, абсолютный прирост, среднесуточный прирост, кормовой коэффициент

Из данных табл. 1 следует, что температурный и кислородный режим, плотность посадки, расход воды и объемы емкостей для выращивания молоди соответствовали биотехническим нормативам подращивания молоди кеты на лососевых заводах Приморского края [Марковцев, 2012].

Эксперименты продолжались в течение 60 сут до смолтификации молоди, т.е. достижения ими средней массы не менее 0,6 г (для Приморского края)*, после чего молодь была выпущена в уличные садки, а затем в естественную среду обитания.

В образцах комбикормов определяли общий азот по методу Кельдаля на приборе «Kjeltec 2300» (Foss, Швеция) (ГОСТ 13496.4-93), воду (ГОСТ Р 54951-2012), минеральные вещества (ГОСТ 32933-2014), массовую долю липидов [Bligh, Dyer, 1959], долю углеводов рассчитывали по остаточному принципу.

Экстракцию водорастворимых белковых веществ проводили согласно рекомендациям [Лазаревский, 1955]. Фракционный состав белков и пептидов анализировали методом гельпроникающей хроматографии на хроматографе высокого давления Agilent

* Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 25 августа 2015 г. № 377 «О внесении изменений в методику расчета объема добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимого для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыболоводных хозяйств при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыбоводства), утвержденную Приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 30 января 2015 г. № 25».

Исследование состава стартовых кормов и эффективность их использования для выращивания...

Technologies liquid chromatograph (Agilent Technologies 1260 Infinity, США), оснащенном ультрафиолетовым детектором. Колонка TSKgel G 3000PWXL column, 7,8mm I.D.×30cm (TOSOH Corporation, Tokyo, Япония), поток 0,3 мл/мин, температура 25 °C. Подвижная фаза 0,1N NaCl-20 mMTris-HCl [Досон и др., 1991; Rosenberg, 1996].

Суточные рационы комбикормов рассчитывали в зависимости от массы тела личинок, мальков и температуры воды, с учетом многолетнего опыта проведения экспериментальных работ на Рязановском ЭПРЗ. Для расчета норм кормления также учитывались данные, представленные в литературе для этого вида рыб [Марковцев, 2012].

Отход молоди определяли методом прямого подсчета погибших особей [Щербина, Гамыгин, 2006], выживаемость — методом вычитания количества погибшей молоди (отход) из общего количества рыбы в бассейне (в процентах).

Абсолютный прирост рассчитывали как разность между конечной и начальной массой молоди в граммах*.

Кормовой коэффициент находили путем деления количества вносимого корма за весь период подращивания на прирост молоди с учетом ее отхода за это время [Щербина, Гамыгин, 2006].

Среднесуточный прирост (удельная скорость роста), выраженный в процентах к средней массе за расчетный период, показывает изменение массы рыб за каждые сутки времени кормления [Щербина, Гамыгин, 2006].

Результаты исследований обрабатывали статистическими методами [Кенуй, 1979], достоверность данных достигали экспериментами, необходимыми и достаточными для их точности. Статистическая обработка материала проводилась с использованием пакета программ Excel 2007.

Результаты и их обсуждение

Исследование молекулярно-массового распределения пептидов в экстрактивной части кормовых компонентов, являющихся источниками белка в рецептурах комбикормов, показало наиболее высокое содержание суммарной пептидной фракции с молекулярной массой до 10 кДа в общей массе водорастворимого белка в рыбной муке и продуктах ферментативного гидролиза (ферментолизат рыбный и дрожжи гидролизные) — от 75,3 до 97,8 % (табл. 2).

Таблица 2
Молекулярно-массовое распределение водорастворимой фракции кормовых компонентов, среднее значение, %

Table 2

Components of water-soluble fraction of starter feeds, by average molecular weight, %

Компонент	Содержание фракций пептидов (ММ, кДа) в водорастворимом белке				Водорастворимый белок
	Менее 1	1–5	5–10	Сумма фракций с ММ от менее 1 до 10 кДа, среднее	
Рыбная мука	33,5 ± 3,1	10,9 ± 2,0	30,9 ± 2,7	75,3 ± 4,6	6,9 ± 1,3
Гаприн	4,1 ± 0,9	1,0 ± 0,4	24,6 ± 3,4	29,7 ± 3,5	9,4 ± 1,7
Ферментолизат рыбный	40,0 ± 3,3	15,0 ± 3,3	42,8 ± 3,7	97,8 ± 3,9	72,6 ± 2,4
Кормовая добавка из личинки черной львинки	7,5 ± 1,9	3,7 ± 1,1	39,9 ± 3,6	51,1 ± 3,8	9,3 ± 0,7
Дрожжи гидролизные	9,0 ± 2,2	13,2 ± 1,5	74,1 ± 4,1	96,3 ± 4,3	10,0 ± 1,5

* Инструкция о порядке учета рыбоводной продукции, выпускаемой организациями Российской Федерации в естественные водоемы и водохранилища / утв. Роскомрыболовства 29.10.94 № 44А-У. Зарегистрировано в Минюсте РФ 9 февраля 1995 г. № 792.

С учетом того, что масса растворимых белков в ферментолизатах самая высокая, можно считать, что их включение в состав кормов позволяет обеспечить наибольшее количество пептидов для питания мальков. Гаприн и личинки черной львинки при более низком суммарном количестве пептидов, судя по данным табл. 2, являются источниками пептидов с ММ 5–10 кДа, количество которых достигает 25–40 %.

Данные, представленные в табл. 2, получены при исследовании образцов кормовых компонентов разных производителей и характеризуются вариабельностью молекулярно-массового состава белковой части, что объясняется разными условиями производства, неоднородностью исходного сырья и его качественных показателей.

Химический состав исследованных образцов стартовых экструдированных кормов для лососевых приведен в табл. 3.

Таблица 3
Общий химический состав экспериментальных экструдированных стартовых комбикормов, %

Table 3

General chemical composition of extruded starter feeds, %

Наименование образца	Вода	Белок	Липиды	Минеральные вещества	Углеводные соединения
ЭФ	3,5 ± 0,1	47,0 ± 0,4	10,4 ± 0,1	7,2 ± 0,2	31,9 ± 0,4
КРЛС-1	6,2 ± 0,2	54,8 ± 0,2	11,1 ± 0,2	8,9 ± 0,2	19,0 ± 0,2
КРЛС-2	4,5 ± 0,2	56,0 ± 0,3	10,9 ± 0,1	8,7 ± 0,2	19,9 ± 0,1
КРЛС-3	5,4 ± 0,3	54,1 ± 0,2	10,1 ± 0,1	8,9 ± 0,2	21,5 ± 0,3

Сравнение полученных данных позволяет сделать заключение о сходстве кормов серии КРЛС, а также более высоком содержании углеводов в экспериментальном образце ЭФ. Роль углеводов в питании рыб заключается в том, что они являются доступным источником энергии, известен успешный опыт применения их в ограниченных количествах в составе комбикормов [Singh et al., 1999; Остроумова, 2012].

Из данных табл. 4 видно, что пептиды присутствуют во всех образцах. Наиболее высокое содержание их установлено для КРЛС-3, что, скорее всего, связано с количеством ферментолизата в его составе и наличием кормовой добавки из личинки черной львинки. Количество наиболее ценной в отношении биологического действия фракции 5–10 кДа наименьшее в образце КРЛС-2. Можно ожидать, что при рыбоводных испытаниях

Таблица 4
Молекулярно-массовое распределение водорастворимой части белков и пептидов в экспериментальных комбикормах и кормовых организмах, %

Table 4

Molecular weight composition for the water-soluble fraction of proteins and peptides in starter feeds, %

Шифр корма	Содержание фракций пептидов (ММ, кДа) в водорастворимом белке					Белок	Водорастворимый белок
	Менее 0,3	0,3–1,0	1,0–5,0	5,0–10,0	Сумма пептидов		
ЭФ	15,6	1,9	8,3	9,3	35,1	47,0	4,9
КРЛС-1	12,7	–	19,9	16,4	49,0	54,7	8,9
КРЛС-2	8,2	–	5,3	4,5	18,0	56,0	5,5
КРЛС-3	20,9	–	24,3	10,6	55,8	54,1	8,9
Кормовые организмы молоди лососевых*	0,4–0,6	–	52,3–81,1	67,2	35,0–60,0	44,0–73,0	
Мелкий зоопланктон**	7,0–10,0	–	60,0–86,0	81,5			

* Хирономиды, олигохеты, гаммарусы [Пономарев, Пономарева, 2003].

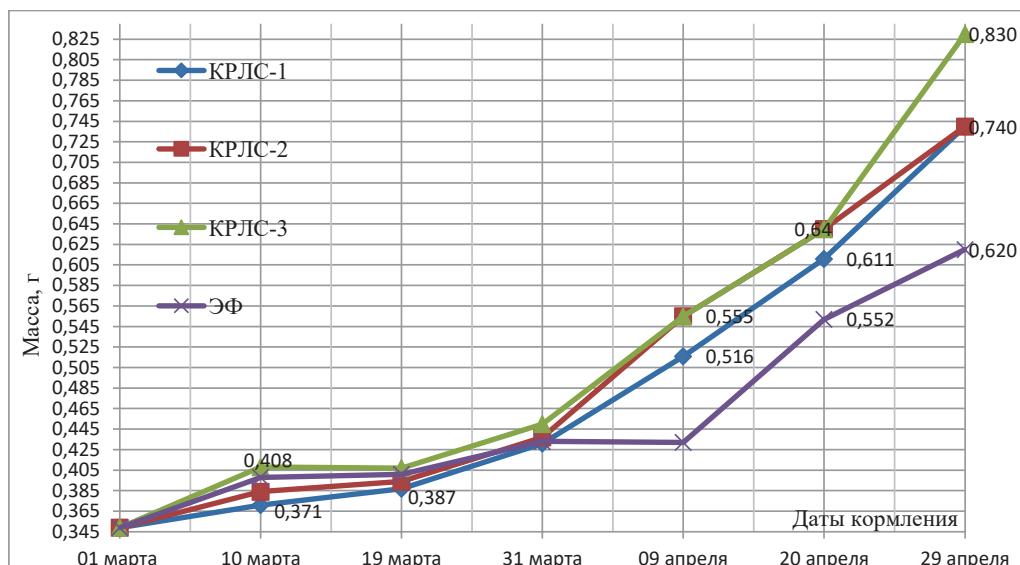
** Данные из литературы [Латреш, 1998; Чипинова, 2006; Пономарев, Пономарева, 2003].

Исследование состава стартовых кормов и эффективность их использования для выращивания...

вариант КРЛС-3 будет опережать по эффективности остальные. Однако, судя по доле данной фракции (5–10 кДа) в других образцах, которая составляет от 4,5 до 16,4 %, все они могут оказать положительное влияние на выживаемость и прирост массы мальков.

Стоит отметить, что экспериментальные образцы содержат значительно меньше водорастворимого белка, чем кормовые организмы (до 9 % по сравнению с 44–73 %). Это можно объяснить техническими особенностями способа изготовления сухих экструдированных комбикормов, который не позволяет полностью скопировать состав кормовых организмов, служащих питанием лососевым в естественной среде обитания. Наличие заметного количества (от 5,3 до 24,3) пептидов с ММ 1–5 кДа во всех вариантах кормов является фактором, который может положительно влиять на развитие мальков, поскольку из научной литературы известно их стимулирующее воздействие на развитие пищеварительного ферментного комплекса [Пономарев, 1995; Латреш, 1998; Грозеску, 2016].

Рыбоводные испытания, проведенные на ЭПРЗ «Рязановский», показали (см. рисунок, табл. 5), что мальки, питавшиеся экспериментальными кормами, достигли стандартной массы не менее 0,6 г* в течение исследованного периода кормления.



Изменение массы молоди кеты при кормлении на ЭПРЗ «Рязановский»
Dynamics of chum salmon fry weight during feeding at the Ryazanovsky fish farm

Таблица 5
Рыбоводно-ихтиологические показатели при испытании экспериментальных
экструдированных комбикормов на ЭПРЗ «Рязановский»

Table 5
Fish farming indices for extruded starter feeds tested at the Ryazanovsky fish farm

Показатель	Комбикорм			
	ЭФ	КРЛС-1	КРЛС-2	КРЛС-3
Абсолютный прирост, г	0,27	0,39	0,39	0,48
Среднесуточный прирост, %	0,93	1,26	1,26	1,45
Кормовой коэффициент, г корма/г прироста	1,38	1,04	1,05	0,88
Выживаемость, %	98,90	95,20	98,58	97,44

Сравнение рыбоводных показателей при использовании кормов позволяет заключить: как конечная масса, так и абсолютный прирост наиболее высокие (0,830 г и

* Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 25 августа 2015 г. № 377...

1,45 %) при кормлении стартовым кормом КРЛС-3, при этом кормовой коэффициент в данном варианте самый низкий (0,88 г корма/г прироста). Корма вариантов КРЛС-1 и КРЛС-2 оказались близкими по рыбоводным показателям, корм ЭФ им уступал. Однако по показателю «выживаемость» ЭФ оказался самым эффективным (98,9 %), тогда как выживаемость при использовании корма КРЛС-3 97,4 %. Установленные различия не столь существенны, поскольку получены положительные результаты для всех исследованных образцов комбикормов. В целом выживаемость мальков во время испытаний была высокой, составив в среднем 97,5 %, что выше нормативного показателя.

Выводы

Установлено, что исследованные кормовые добавки по составу близки к естественному корму мальков и содержат до 98 % (к водорастворимому белку) низкомолекулярных биологически активных пептидов.

Конечная масса, как и абсолютный прирост, наиболее высокие (соответственно 0,830 г и 1,45 %) при кормлении КРЛС-3, при этом кормовой коэффициент в данном варианте ниже, чем у других комбикормов, и составляет 0,88 г корма/г прироста. Полученные результаты позволяют считать, что при подращивании мальков кеты наиболее эффективными среди исследованных являются корма, содержащие в водорастворимой части около 56 % пептидов с ММ до 10 кДа.

Сравнение рыбоводно-ихтиологических показателей выращивания мальков кеты при использовании экспериментальных стартовых кормов продемонстрировало положительные результаты для всех испытанных вариантов.

При оценке эффективности комбикормов в данной работе не обсуждается экономическая составляющая, поэтому окончательное заключение и рекомендации могут быть сформулированы с учетом стоимости кормов, а также технических возможностей предприятия-изготовителя.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность к.х.н. К.Г. Павелю за полученные им экспериментальные данные, которые были использованы в работе, а также выражают свою признательность Г.В. Самойленко за помощь в проведении исследований.

The authors are grateful to Konstantin G. Pavel (TINRO) for his experimental data used in the study and also express their gratitude to Galina V. Samoilenco for her kind assistance in the work.

Финансирование работы (FUNDING)

Основанием для проведения научно-исследовательской работы являлась Государственная работа «Проведение прикладных научных исследований» государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076–00004–23–01.

The study was based on the State work “Conducting applied scientific research” in the framework of the state assignment to VNIRO No. 076–00004–23–01.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Библиографические ссылки на все использованные в работе данные других авторов оформлены в соответствии с правилами данного издания.

Bibliographic references to all data of other authors used in the work are formatted in accordance with the rules of this publication.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Авторы в равной мере участвовали в постановке цели, планировании и организации работы, получении экспериментальных данных, их обработке и анализе, составлении макета статьи, формулировании выводов.

The authors were equally involved in the study targeting, planning and organizing, in the samples analyses and the experimental data processing and analyzing, as well as in writing the manuscript and formulating the study conclusions.

Список литературы

- Гамыгин Е.А.** Корма и кормление рыб : ОИ / ЦНИИТЭИРХ. — 1987. — Вып. 1. — 82 с.
- Грозеску Ю.Н.** Инновационные методы повышения эффективности кормления осетровых рыб на основе использования в рационах нетрадиционного кормового сырья и биологически активных препаратов : дис. ... д-ра сельскохозяйственных наук. — Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2016. — 307 с.
- Досон Р., Эллиот Д., Эллиот У., Джонс К.** Справочник биохимика : пер. с англ. — М. : Мир, 1991. — 544 с.
- Желтов Ю.А.** Кормление разновозрастных ценных видов рыб в фермерских рыбных хозяйствах : моногр. — Киев : Фирма «ИНКОС», 2006. — 221 с.
- Журкович И.К., Ковров Н.Г., Рыжак Е.К. и др.** Идентификация коротких пептидов в составе полипептидных комплексов, выделенных из органов животных // Успехи современной биологии. — 2020. — Т. 140, № 2. — С. 140–148. DOI: 10.31857/S004213242002012X.
- Иванов В.Т., Дейгин В.И.** Эволюция биофармацевтики пептидных препаратов // Биоорганическая химия. — 2023. — Т. 49, № 3. — С. 229–242. DOI: 10.31857/S0132342323030120.
- Кенуй М.Г.** Быстрые статистические вычисления : справочник : пер. с англ. — М. : Статистика, 1979. — 70 с.
- Лазаревский А.А.** Технико-химический контроль в рыбообрабатывающей промышленности : пособие для работников заводских и исслед. лабораторий. — М. : Пищепромиздат, 1955. — 520 с.
- Латреш Х.** Физиологические аспекты белкового питания осетровых рыб в раннем постэмбриогенезе : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Астрахань : АГТУ, 1998. — 26 с.
- Лиман С.А., Давыденко Т.М., Лебедев В.Ю., Ушакова Н.А.** Перспективность использования личинок черной львинки *Hermetia illucens* в кормах для объектов индустриальной аквакультуры // Достижения науки и техники АПК. — 2021. — Т. 35, № 8. — С. 35–39. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_8_35.
- Марковцев В.Г.** Инструкция по искусственноому разведению приморской кеты в заводских условиях. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2012. — 46 с.
- Остроумова И.Н.** Биологические основы кормления рыб. 2-е изд., испр. и доп. : моногр. — СПб. : ГосНИОРХ, 2012. — 564 с.
- Остроумова И.Н., Аршавский Д.С., Афанасьев Ю.О. и др.** Результаты испытания гаприна в составе кормов для карпа разного возраста на теплых водах // Медико-биологическая оценка и эффективность применения в сельском хозяйстве белковых продуктов микробиологического синтеза : тез. докл. Всесоюз. конф. — М., 1989. — С. 36–38.
- Остроумова И.Н., Костюничев В.В., Лютиков А.А. и др.** Включение в стартовые корма для сиговых рыб (Coregonidae) бактериальной биомассы и белковых гидролизатов // Вопр. рыбов. — 2018. — Т. 19, № 1. — С. 82–98.
- Пат. RU 2503684 C2.** Иммуномоделирующие олигопептиды / С.В. Литвинов. — Заявл. 29.03.2007; Опубл. 10.01.2014; Бюл. № 1.
- Пат. RU 2767532 C1.** Пептид, обладающий бромхопротекторным действием, фармакологическая композиция на его основе и способ применения / В.Х. Хавинсон, Г.А. Рыжак, Н.С. Линькова, Е.С. Миронова. — Заявл. 27.05.2021; Опубл. 17.03.22; Бюл. № 8.
- Пат. RU 2778505 C1.** Пептид, обладающий нефропротекторным действием, фармакологическая композиция на его основе и способ применения / В.Х. Хавинсон, Г.А. Рыжак, Е.С. Миронова, А.Т. Ильина. — Заявл. 7.07.2021; Опубл. 22.08.2022; Бюл. № 24.
- Пономарев С.В.** Биологические основы кормления лососевых рыб в раннем постэмбриогенезе : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — М. : ВНИИПРХ, 1995. — 43 с.
- Пономарев С.В., Пономарева Е.Н.** Технологические основы разведения и кормления лососевых рыб в индустриальных условиях : моногр. — Астрахань : АГТУ, 2003. — 186 с.
- Прозоровский В.Н., Торховская Т.И., Кострюкова Л.В., Ипатова О.М.** Использование специфических пептидов для адресной доставки наночастиц с противоопухолевыми лекарствами // Биофармацевтический журнал. — 2018. — Т. 10, № 4. — С. 3–18.
- Судакова Н.В.** Сравнительная эффективность продуктов микробного синтеза в составе стартовых кормов для молоди осетровых рыб : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М. : ВНИИПРХ, 1998. — 26 с.

Хавинсон В.Х. Лекарственные пептидные препараты: прошлое, настоящее, будущее // Клиническая медицина. — 2020. — Т. 98, № 3. — С. 165–177. DOI: 10.30629/0023-2149-2020-98-3-165-177.

Хавинсон В.Х., Минькова Н.С., Тарновская С.И. Короткие пептиды регулируют экспрессию генов // Бюл. экспериментальной биологии и медицины. — 2016. — Т. 162, № 8. — С. 259–264.

Чипинова Г.М. Технологические особенности кормления молоди осетровых рыб при индустриальном выращивании : дис. ... канд. биол. наук. — Астрахань, 2006. — 149 с.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре : моногр. — М. : ВНИРО, 2006. — 360 с.

Bligh E.G., Dyer W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification // Can. J. Biochem. Physiol. — 1959. — Vol. 37, № 8. — P. 911–917. DOI: 10.1139/o59-099.

Dawood M.A., Koshio S. Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable aquaculture // Reviews in Aquaculture. — 2020. — Vol. 12, no. 2. — P. 987–1002. DOI: 10.1111/raq.12368.

Islam M.S., Wang H., Admassu H. et al. Health benefits of bioactive peptides produced from muscle proteins: Antioxidant, anti-cancer, and anti-diabetic activities // Process Biochemistry. — 2022. — Vol. 116. — P. 116–125. DOI: 10.1016/j.procbio.2022.03.007.

Mukherjee R., Chakraborty R., Dutta A. Role of fermentation in improving nutritional quality of soybean meal — a review // Asian-Australasian J. Animal Sci. — 2016. — Vol. 29, № 11. — P. 1523–1529. DOI: 10.5713/ajas.15.0627.

Rosenberg I.M. Protein Analysis and Purification: Benchtop Techniques. — Springer Science+Business Media, LLC, 1996. — 520 p. DOI: 10.1007/978-1-4757-1108-0.

Singh R., Dhawan A., Saxena P.K. Potential of press mud — a sugar factory byproduct — in supplementary diets and its impact on fish growth // Bioresource Technology. — 1999. — Vol. 67, № 1. — P. 61–64. DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00067-X.

References

- Gamygin, E.A., Kormleniye ryb** (Fish feed and feeding), Moscow: TsNIITEIRKh, 1987, vol. 1.
- Grosescu, Yu.N.**, Innovative methods to increase the feeding efficiency of sturgeon fish based on the use of unconventional feed raw materials and biologically active preparations in diets, *Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Astrahan': AGTU, 2016.
- Dawson, R., Elliot, D., Elliot, W., and Jones, K.**, Handbook of Biochemist, Moscow: Mir, 1991.
- Zheltov, Yu.A.**, *Kormleniye raznovozrastnykh tsennykh vidov ryb v fermerskikh rybnykh khozyaystvakh* (Feeding valuable fish species of different ages in farmed fisheries), Kiev: INKOS, 2006.
- Zhurkovich, I.K., Kovrov, N.G., Ryzhak, G.A., Mironova, E.S., and Khavinson, V.Kh.**, Identification of short peptides as part of polypeptide complexes isolated from animal organs, *Uspekhi sovremennoy biologii*, 2020, vol. 140, no. 2, pp. 140–148. Doi 10.31857/S004213242002012X
- Ivanov, V.T. and Deigin, V.I.**, Evolution of peptide biopharmaceuticals, *Bioorganicheskaya khimiya*, 2023, vol. 49, no. 3, pp. 229–242. doi 10.31857/S0132342323030120
- Kenuy, M.G.**, *Bystrye statisticheskiye vychisleniya* (Fast statistical calculations), Moscow: Statistics, 1979.
- Lazarevsky, A.A.**, *Tekhniko-khimicheskiy kontrol' v ryboobrabatyvayushchey promyshlennosti: posobiye dlya rabotnikov zavodskikh i issled. laboratoriyy* (Technical and chemical control in the fish processing industry: a manual for factory workers and research. laboratories), Moscow: Pishcheprizdat, 1955.
- Latresh, H.**, Physiological aspects of protein nutrition in sturgeon fish in early postembryogenesis, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 1998.
- Liman, S.A., Davydenko, T.M., Lebedev, V.Yu., and Ushakova, N.A.**, Prospects for the use of the *Hermetia illucens* larvae in feed for industrial aquaculture objects, *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2021, vol. 35, no. 8, pp. 35–39. doi 10.53859/02352451_2021_35_8_35
- Markovtsev, V.G.**, *Instruktsiya po iskusstvennomu razvedeniyu primorskoy kety v zavodskikh usloviyah* (Instructions for artificial breeding of Primorsky chum salmon in factory conditions), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2012.
- Ostromova, I.N.**, *Biologicheskiye osnovy kormleniya ryb* (Biological basis of fish feeding), St. Petersburg: GosNIORKh, 2012. 2nd ed.

Ostroumova, I.N., Arshavsky, D.S., Afanasyeva, Yu.O., Moseychuk, S.B., Grigorieva, S.V., and Smirnova, L.V., Results of testing gaprin in the composition of feed for carp of different ages in warm waters, in *Tezisy dokl. Vsesoyuz. konf. "Mediko-biologicheskaya otsenka i effektivnost' primeneniya v sel'skom khozyaystve belkovykh produktov mikrobiologicheskogo sinteza"* (Proc. Rep. All-Union conf. "Medical and biological assessment and efficiency of application in agriculture of protein products of microbiological synthesis"), Moscow, 1989, pp. 36–38.

Ostroumova, I.N., Kostyunichev, V.V., Lyutikov, A.A., Bogdanova, V.A., Shumilina, A.K., Danilova, T.P., Kozmina, A.V., and Filatova, T.A., Inclusion of bacterial biomass and protein hydrolysates in starter feeds for whitefish (Coregonidae), *Vopr. Rybolov.*, 2018, vol. 19, no. 1, pp. 82–98.

Litvinov, S.V., Patent RU 2503684 C2, Immunomodulatory oligopeptides, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2014, no. 1.

Khavinson, V.Kh., Ryzhak, G.A., Linkova, N.S., and Mironova, E.S., A peptide with bromochoprotective action, a pharmacological composition based on it and a method of application, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2022, no. 8.

Khavinson, V.Kh., Ryzhak, G.A., Mironova, E.S., and Ilyina, A.T., Peptide with nephroprotective action, pharmacological composition based on it and method of application, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2022, no. 24.

Ponomarev, S.V., Biological principles of feeding salmon fish in early postembryogenesis, *Extended Abstract of Doct. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: Vses. Nauchno-Issled. Inst. Presnovodn. Rybn. Khoz., 1995.

Ponomarev, S.V. and Ponomareva, E.N., *Tekhnologicheskiye osnovy razvedeniya i kormleniya lososovykh ryb v industrial'nykh usloviyakh* (Technological foundations of breeding and feeding salmon fish in an industrial environment), Astrakhan: Astrakh. Gos. Tekh. Univ., 2003.

Prozorovskii, V.N., Torkhovskaya, T.I., Kostryukova, L.V., and Ipatova, O.M., Specific peptides usage for targeted delivery of nanoparticles with antitumor drugs, *Biofarmatsevticheskiy zhurnal*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 3–18.

Sudakova, N.V., Comparative efficiency of microbial synthesis products in starter feeds for sturgeon fry, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: Vses. Nauchno-Issled. Inst. Presnovodn. Rybn. Khoz., 1998.

Khavinson, V.Kh., Peptide medicines: past, present, future, *Clinical Medicine*, 2020, vol. 98, no. 3, pp. 165–177. doi 10.30629/0023-2149-2020-98-3-165-177

Khavinson, V.Kh., Lin'kova, N.S., and Tarnovskaya, S.I., Short peptides regulate gene expression, *Bulletin of experimental biology and medicine*, 2016, vol. 162, no. 2, pp. 288–292. doi 10.1007/s10517-016-3596-7

Chipanova, G.M., Technological features of feeding juvenile sturgeon during industrial farming, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Astrakhan, 2006.

Shcherbina, M.A. and Gamygin, E.A., *Kormleniye ryb v presnovodnoy akvakul'ture* (Feeding fish in freshwater aquaculture), Moscow: VNIRO, 2006.

Bligh, E.G. and Dyer, W.J., A rapid method of total lipid extraction and purification, *Can. J. Biochem. Physiol.*, 1959, vol. 37, no. 8, pp. 911–917. doi 10.1139/o59-099

Dawood, M.A. and Koshio, S., Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable aquaculture, *Reviews in Aquaculture*, 2020, vol. 12, no. 2, pp. 987–1002. doi 10.1111/raq.12368

Islam, M.S., Wang, H., Admassu, H., Sulieman, A.A., and Wei, F.A., Health benefits of bioactive peptides produced from muscle proteins: Antioxidant, anti-cancer, and anti-diabetic activities, *Process Biochemistry*, 2022, vol. 116, pp. 116–125. doi 10.1016/j.procbio.2022.03.007

Mukherjee, R., Chakraborty, R., and Dutta, A., Role of fermentation in improving nutritional quality of soybean meal — a review, *Asian-Australasian J. Animal Sci.*, 2016, vol. 29, no. 11, pp. 1523–1529. doi 10.5713/ajas.15.0627

Rosenberg, I.M., *Protein Analysis and Purification: Benchtop Techniques*, Springer Science+Business Media, LLC, 1996. doi 10.1007/978-1-4757-1108-0

Singh, R., Dhawan, A., and Saxena, P.K., Potential of press mud — a sugar factory byproduct — in supplementary diets and its impact on fish growth, *Bioresource Technology*, 1999, vol. 67, no. 1, pp. 61–64. doi 10.1016/S0960-8524(99)00067-X

Instruktsiya o poryadke ucheta rybovodnoy produktsii, vypuskayemoy organizatsiyami Rossiskoy Federatsii v yestestvennyye vodoyemy i vodokhranilishcha / utv. Roskomrybolovstva 29.10.94 № 44A-U. Zaregistrirovano v Minyuste RF 9 fevralya 1995 g. № 792 (Instructions on the procedure for recording fish-breeding products released by organizations of the Russian Federation into natural

water bodies and reservoirs / approved by Roskomrybolovstvo on October 29, 1994, No. 44A-U. Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on February 9, 1995, No. 792).

Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 25 avgusta 2015 g. № 377 "O vnesenii izmeneniy v metodiku rascheta ob'yema dobychi (vylova) vodnykh biologicheskikh resursov, neobkhodimogo dlya obespecheniya sokhraneniya vodnykh biologicheskikh reesursov, neobkhodimogo dlya obespecheniya sokhraneniya vodnykh biologicheskikh resursov i obespecheniya deyatel'nosti rybovodnykh khozyaystv pri osushchestvlenii rybolovstva v tselyakh akvakul'tury (rybovodstva), utverzhdennyyu Prikazom Ministerstva" (Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated August 25, 2015 No. 377 "On Amendments to the Methodology for Calculating the Volume of Extraction (Catch) of Aquatic Biological Resources Necessary to Ensure the Conservation of Aquatic Biological Resources and Ensure the Operation of Fish Farms in the Implementation of Fisheries for the Purposes of Aquaculture (Fish Farming), Approved by Order of the Ministry").

Поступила в редакцию 12.08.2025 г.

После доработки 17.10.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

*The article was submitted 12.08.2025; approved after reviewing 17.10.2025;
accepted for publication 3.12.2025*