

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОБИОНТОВ

УДК 639.3.043.2

**А.Н. Баштовой¹, Е.П. Караулова¹, Г.Н. Тимчишина¹, К.Г. Павел¹,
П.Л. Пасечник^{2*}**¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Приморский филиал Главрыбвода,
690091, г. Владивосток, ул. Светланская, 7**ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ВОДОРАСТВОРИМЫХ
БЕЛКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ СУХОГО ФЕРМЕНТОЛИЗАТА
И СТАРТОВОГО КОРМА ДЛЯ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ**

Проведен анализ фракционного состава белков и пептидов сухого ферментоллизата и стартового комбикорма разработки ТИНРО в сравнении с составом кормовых организмов молоди лососевых и комбикормом для них. Установлено, что фракционный состав стартового комбикорма ЛСоТ разработки ТИНРО с добавлением сухого ферментоллизата по фракционному составу белка и пептидов сопоставим с реальными потребностями молоди кеты. Представлено подробное описание методики определения фракционного состава водорастворимой части белковой составляющей кормов и кормовых продуктов. Приведены данные о химическом составе высокобелкового сухого ферментоллизата и комбикорма для молоди лососевых.

Ключевые слова: пептиды, фракционный состав, стартовые корма, лососевые, ферментоллизат.

DOI: 10.26428/1606-9919-2019-199-241-248.

Bashtovoy A.N., Karaulova E.P., Timchishina G.N., Pavel K.G., Pasechnik P.L.
Fractional composition of water-soluble protein components of dry fermentolizate and starter feed for salmon fish // *Izv. TINRO*. — 2019. — Vol. 199. — P. 241–248.

Data on fractional composition of proteins and peptides in the dry fermentolizate and starter feed developed in TINRO are presented and compared with that composition in natural

* *Баштовой Александр Николаевич, кандидат технических наук, заведующий сектором, e-mail: a.n.bashtovoy@mail.ru; Караулова Екатерина Павловна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: karaulova2002@yandex.ru; Тимчишина Галина Николаевна, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: galina.timchishina@tinro-center.ru; Павел Константин Геннадьевич, ведущий специалист, кандидат химических наук, e-mail: kgpavel@yandex.ru; Пасечник Павел Леонидович, заместитель начальника, e-mail: rybvod@gmail.com.*

Bashtovoy Alexander N., Ph.D., head of sector, Pacific branch of VNIRO (TINRO), Shevchenko Alley, 4, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: a.n.bashtovoy@mail.ru; Karaulova Ekaterina P., Ph.D., leading researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), Shevchenko Alley, 4, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: karaulova2002@yandex.ru; Timchishina Galina N., Ph.D., associate professor, leading researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), Shevchenko Alley, 4, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: galina.timchishina@tinro-center.ru; Pavel Konstantin G., Ph.D., leading specialist, Pacific branch of VNIRO (TINRO), Shevchenko Alley, 4, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: kgpavel@yandex.ru; Pasechnik Pavel L., deputy head, Primorsky Branch of Glavrybvod, Svetlanskaya st., 7, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: rybvod@gmail.com.

prey consumed by salmon juveniles and in compound feed for them used in fish farms. The dry fermentolizate is produced on base of raw pollock with successive processes of grinding, fermentation (45 min. under temperature 45–50 °C with complex enzyme preparation Protosubtilin G3x), bone separation, and pasteurization (15–20 min. under temperature 85–90 °C). The starter feed includes fish flour (pollock), wheat flour, dry fermentolizate, bran, hydrolysis yeast, milk powder, premix, and vegetable oil in a certain proportion. Methods of fractional composition investigation for the water-soluble part of protein component in feeding products are described in detail. The fractional composition is determined using the medium pressure gel permeation chromatography. General chemical composition of the high-protein dry fermentolizate and starter feed is presented. Contents of polypeptides and low molecular weight proteins with MM of 1.0–10.0 kDa, proteins with MM of 0.1–10.0 kDa and > 10.0 kDa for the new-developed starter feed with addition of dry fermentolizate coincide with those for natural prey of salmon larvae and juveniles (chironomids, oligochaetes, gammarus), so it corresponds to real nutritional needs of juvenile salmon.

Key words: peptide, fractional composition, starter feed, salmon juvenile, fermentolizate.

Введение

Известно, что в раннем периоде жизни у личинок тихоокеанских лососей при переходе на экзогенное питание в течение 30–60 сут происходит формирование пищеварительной системы. Как раз в этот период молодь тихоокеанских лососей отличается особыми требованиями к составу белка пищи. В кормовых организмах, которыми питается молодь лососевых рыб в это время, протеин в значительной мере представлен в растворе протоплазмы и межклеточной жидкости. Способность протеина создавать водные растворы связана со структурой белка. Чем проще и короче полипептидная цепочка, тем лучше она способна растворяться и легче гидролизироваться ферментами. Именно поэтому в состав стартовых кормов начали с успехом вводить легкоусвояемые высокобелковые компоненты: гидролизаты белкового сырья — ферментоллизаты или автолизаты [Пономарев, Пономарева, 2003]. Рядом зарубежных и отечественных ученых [Dabrovski, Rusiecki, 1983; Пономарев и др., 2002; Пименов, Пономарев, 2009] отмечен положительный эффект от введения в корм белковых гидролизатов с определенным молекулярно-массовым составом. Показано, что высокодисперсный протеин, содержащий достаточное количество полипептидов, легко усваивается, способствует развитию пищеварительной системы молоди и позволяет уменьшить потери энергии, направленные на предварительное расщепление белков [Остроумова, 2001].

Учитывая опыт зарубежных и отечественных ученых, основываясь на ранее полученных результатах работ ТИНРО, в 2017–2019 гг. в секторе кормов Тихоокеанского филиала разработана технология получения сухого ферментоллизата (СФ) и стартового комбикорма для молоди лососевых на его основе (ЛСоТ). Однако сухие белковые компоненты животного происхождения, входящие в состав искусственных стартовых комбикормов, как и сами комбикорма, в отличие от естественных кормовых организмов, могут иметь иную структуру белка, что в значительной степени влияет на их усвоение молодью кеты. Таким образом, на усвояемость кормов, согласно современным представлениям в области физиологии и биохимии питания, оказывает влияние фракционный состав их белковой составляющей, что, в свою очередь, сказывается на скорости роста и выживаемости личинок и молоди рыб [Пономарев, 1995; Лебская, Мухина, 2000; Мухин, Новиков, 2001; Кузьмина, 2005; Грозеску, 2016].

Согласно данным С.В. Пономарева, Е.Н. Пономаревой [2003] живые кормовые организмы (хинономиды, гаммарусы, олигохеты), которыми питается молодь тихоокеанских лососей, содержат белок с относительно низкой молекулярной массой (ММ). Именно эта особенность позволяет ранней молоди эффективно усваивать белок естественных кормов и обуславливает быстрый рост и формирование пищеварительного тракта.

В современных условиях при содержании рыбы в садках и бассейнах широко-масштабно используются искусственные комбинированные корма. При этом возникает необходимость в разработке сбалансированных рецептур кормов, которые должны

отвечать потребностям объектов аквакультуры [Пономарев и др., 2013; Гамыгин, Багров, 2014].

Цель статьи — описать фракционный состав водорастворимых белков и пептидов экспериментального стартового комбикорма ЛСоТ, разработанного в ТИНРО, и его составной части — сухого ферментолизата, а также сопоставить полученные данные с имеющимися в литературе данными [Пономарев, Пономарева, 2003] по фракционному составу кормовых организмов для молоди тихоокеанских лососевых.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был выбран ЛСоТ с сухим ферментоллизатом. Сырьем для получения СФ служил минтай неразделанный мелкий.

Сухой ферментоллизат получали путем последовательного проведения операций: измельчение сырья, ферментация (комплексный ферментный препарат Протосубтилин ГЗх, время 45 мин, температура 45–50 °С), отделение костей, пастеризация (температура 85–90 °С, время 15–20 мин).

Комбикорм производили в кормовом цехе ТИНРО согласно ТИ № 388-2018 (ТУ 10.91.10-388-0472012-2018) по изготовлению комбикорма стартового для лососевых рыб: прием и хранение сырья, подготовка сырья, измельчение, приготовление смеси, увлажнение и гранулирование, сушка и охлаждение гранул, дробление, разделение крупки по фракциям, подготовка жировой смеси, ожиривание, упаковывание, маркирование, хранение.

Рецептура комбикорма [Баштовой и др., 2017] включала муку рыбную (минтаевую), пшеничную, КФД (сухой ферментоллизат + отруби), дрожжи гидролизные, сухое молоко, премикс, растительное масло, использованные в определенной пропорции.

Химический состав комбикормов определяли по ГОСТ 31640-2012, ГОСТ 13496.4-2019, ГОСТ 13496.15-2016, ГОСТ 26226-95.

Массовую долю липидов определяли экстракцией по методу Блайя и Дайера [Bligh, Dyer, 1959].

Анализ фракционного состава белков и пептидов проводили методом гель-проникающей хроматографии среднего давления (АКТА Explorer, Amersham Biosciences, P-900, UV-900, рН/С-900, SuperdexPeptide 10/300GL, Superdex 75 10/300 GL). В качестве подвижной фазы использовали буфер, содержащий 0,1N NaCl-20 mM Tris-HCl, pH 8,0 [Rosenberg, 1996], скорость потока 0,3 мл/мин, детектирование — 280 нм [Досон и др., 1991], объем пробы 50 мл.

Молекулярную массу белков и пептидов рассчитывали с помощью маркеров ММ (Sigma-Aldrich): карнозин (0,226 кДа), ангиотензин (1,046 кДа), бацитрацин (1,422 кДа), апротинин (6,500 кДа), цитохром С (12,500 кДа), миоглобин (18,0 кДа), химотрипсиноген (24,0 кДа), овальбумин (43,0 кДа), бычий сывороточный альбумин (67,0 кДа), гамма-глобулин (160,0 кДа), апоферритин (480,0 кДа), используя сравнение объемов удерживания [Досон и др., 1991; Rosenberg, 1996].

Экстракцию водорастворимых белков проводили по стандартной методике [Лазаревский, 1955] в некоторой модификации. Образцы комбикормов гомогенизировали с холодной, 4 °С-ной дистиллированной водой в соотношении 1 : 20, в течение 10 мин, оставляли при 4 °С на 12 ч, периодически встряхивая. Гомогенаты центрифугировали при 8 тыс. об./мин (15 мин) и температуре 4 °С. Надосадочную жидкость сливали, осадок повторно промывали дистиллированной водой в соотношении 1 : 2 и центрифугировали, процедуру промывки повторяли дважды. Полученные водные экстракты объединяли, фильтровали через микрофильтр Whatman (0,45 µm PVDF).

Результаты и их обсуждение

При разработке технологий производства комбикормов широкое распространение получают методы частичного гидролиза белковых компонентов, вводимых в корма, что позволяет обогатить конечные продукты легкоусвояемыми белковыми компонентами, пептидами, аминокислотами.

Так, в ТИНРО, учитывая опыт прошлых лет [Помоз и др., 2012; Баштовой и др., 2013, 2017], разработана технология комбикорма для молоди лососевых с применением ферментолизата, общий химический состав которых представлен в табл. 1.

Общий химический состав корма и ферментолизата, % общего содержания

Table 1

General chemical composition of starter feed and fermentolizate, %

Наименование кормового продукта	Вода/сухие вещества	Белок	Липиды	Минеральные вещества	Углеводы
Комбикорм ЛСоТ	6,89/93,11	39,47	7,73	10,44	35,47
Кормовая добавка СФ	8,70/91,30	64,78	10,28	16,24	–

Особенностью комбикорма, разработанного ТИНРО для молоди лососевых, является содержание белковых компонентов порядка 40 %, что согласуется с содержанием белка в живых кормовых организмах (хиномидах, гаммарусах и олигохетах), которыми питается ранняя молодь кеты [Канидьев, 1984; Пономарев, Пономарева, 2003; Остроумова, 2012].

Содержание белка в СФ составляет около 65 %, что позволяет его отнести к высокобелковым продуктам.

При проведении исследований установлено, что УФ-спектры, полученные для образцов при 280 нм, являются более информативными и позволяют точнее рассчитать фракционный состав белков и пептидов исследуемых образцов, чем спектры, полученные при 254 или при 230 нм.

Хроматографическое распределение водорастворимой фракции белков и пептидов экспериментального корма ЛСоТ и СФ показано на рис. 1, 2. В комбикорме и сухом ферментолизате содержатся свободные аминокислоты (менее 0,1 кДа), олигопептиды с ММ от 0,1 до 1,0 кДа, полипептиды от 1,0 до 5,0 кДа, белки с ММ 30,0–40,0 и 50,0–70,0 кДа.

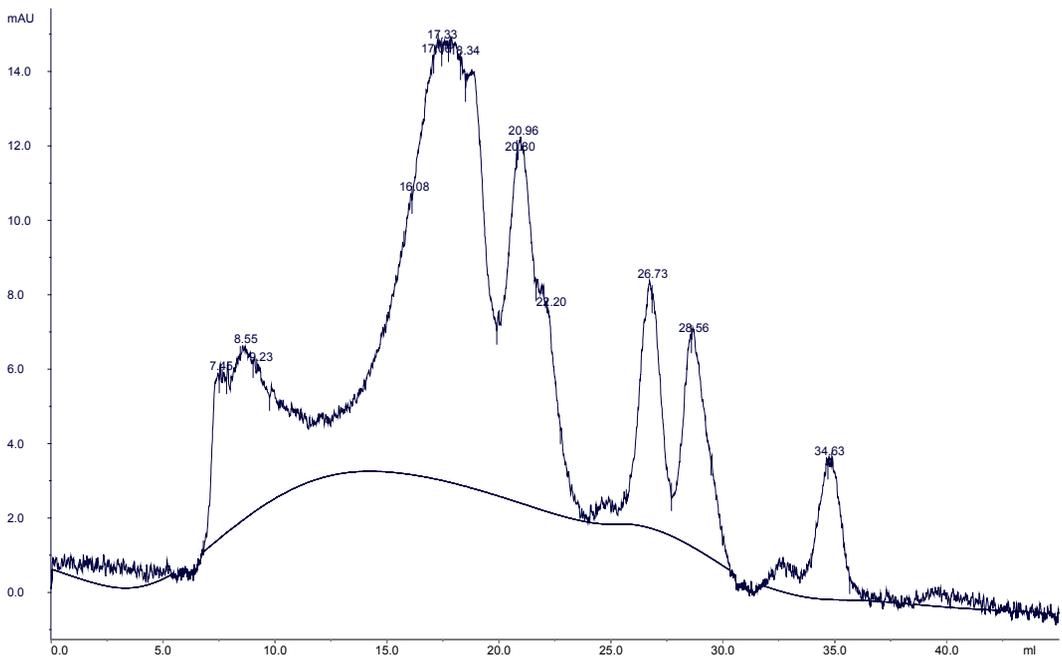


Рис. 1. Хроматографическое распределение водорастворимых пептидов и белков в комбикорме ЛСоТ

Fig. 1. Chromatography distribution of water-soluble peptides and proteins in starter feed

Как видно на рис. 1, белки и пептиды в корме представлены в широком диапазоне ММ, что связано с изначальным состоянием ЛСоТ — это смесь сухих компонентов, прошедших термическую обработку и частично гидролизованных.

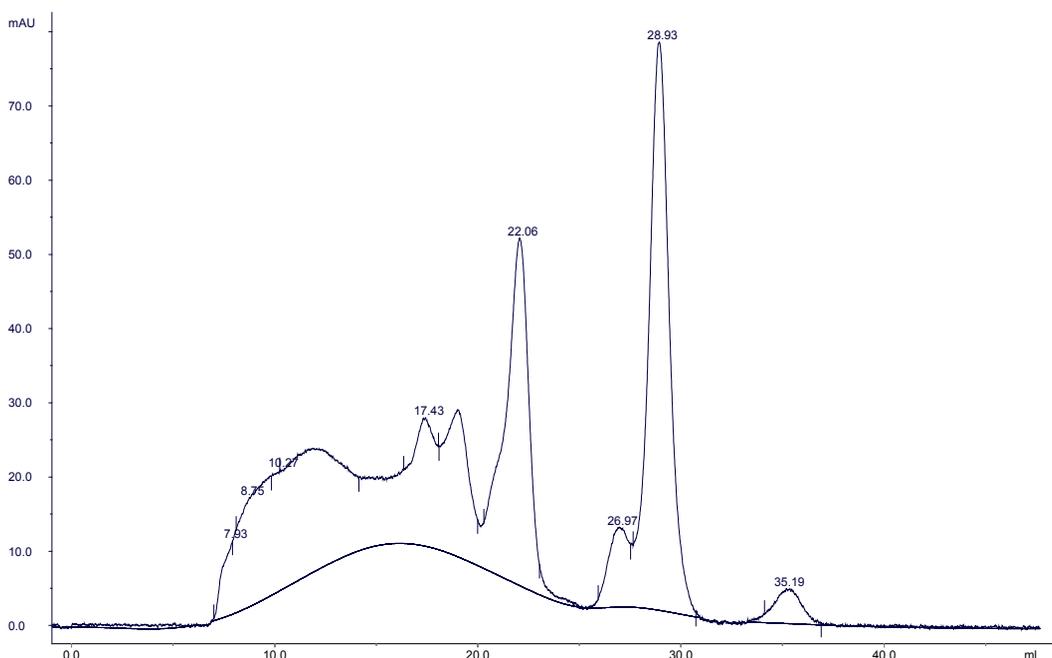


Рис. 2. Хроматографическое распределение водорастворимых пептидов и белков в сухом ферментализате

Fig. 2. Chromatography distribution of water-soluble peptides and proteins in dry fermentolizate

Фракционный состав водорастворимой части сухого ферментализата и комбикорма представлен в табл. 2. Для сравнения в таблице приведены данные фракционного состава белка кормовых организмов молоди лососевых [Пономарев, Пономарева, 2003] и корма для личинок лососей [Пономарев, 1995].

Таблица 2

Молекулярно-массовое распределение белков и пептидов сухого ферментализата, комбикормов и кормовых организмов, %

Table 2

Molecular mass distribution for proteins and peptides in dry fermentolizate, compound feed for fish, and natural prey of salmon juveniles, %

Наименование	Доля водорастворимых пептидов и белков, %			
	Менее 1 кДа	1–10 кДа	Более 10 кДа	Сумма 0,1–10,0 кДа
Сухой ферментализат	45,9	44,3	9,8	87,2
Комбикорм ЛСоТ	27,0	55,0	18,0	76,2
Корм для личинок лососей [Пономарев, 1995]	3,1–17,6	3,4–67,0	20,4–90,0	21,5–96,6
Кормовые организмы молоди лососевых*	0,2–0,4 (0,30 ± 0,03)	6,1–72,3 (39,2 ± 5,0)	3,9–36,1 (20,0 ± 2,0)	51,4–98,2 (74,8 ± 3,4)

* Хируномиды, олигохеты, гаммарусы, в скобках среднее значение [Пономарев, Пономарева 2003].

Сопоставление данных табл. 2 показывает, что содержание фракции свободных аминокислот и олигопептидов с ММ до 1 кДа в экспериментальном корме заметно превышает содержание таковых в кормовых организмах молоди лососевых и в варианте комбикорма, предложенного С.В. Пономаревым [1995] для искусственного выращивания лососевых. В то же время содержание полипептидов и низкомолекулярных белков с ММ 1,0–10,0 кДа, белков с ММ более 10,0 кДа и в диапазоне с ММ 0,1–10,0 кДа в экспериментальном комбикорме ТИНРО совпадает с диапазоном молекулярно-массового распределения фракционного состава кормовых организмов молоди лососевых и корма для личинок лососей. Заметное превышение содержания свободных аминокислот и

олигопептидов (менее 1 кДа) по сравнению с литературными данными рассматривается как положительный эффект, так как известно, что личинкам на самом начальном этапе перехода к искусственному питанию требуется большее количество легкоусвояемого белка [Канидьеv, 1984; Пономарев, 2002; Пономарев, Пономарева, 2003]. Также наличие высокой концентрации свободных аминокислот и олигопептидов компенсирует их частичное вымывание из комбикорма при его нахождении в воде.

Следует также отметить, что для стартовых кормов лососевых рыб весьма важным является применение деструктурированного рыбного белка (гидролизаты, автолизаты) с высоким содержанием олиго- и полипептидов с ММ до 0,4 и от 0,4 до 1,0 кДа, сумма которых может составлять от 20 до 30 % [Пономарев и др., 2010]. В комбикорме ЛСоТ доля олигопептидов составляет 27 %.

Содержание в СФ пептидов с ММ ниже 1 кДа (45,9 %) и белков с ММ до 10 кДа (44,3 %) позволяет позиционировать СФ как кормовой продукт с высоким содержанием легкодоступных белковых соединений.

Заключение

На основании данных анализа фракционного состава пептидов и белков сделан вывод, что разработанный ТИНРО комбикорм ЛСоТ с добавлением сухого ферментолита по фракционному составу белков в целом совпадает с потребностями молоди кеты. Окончательный вывод об эффективности применения экспериментального стартового комбикорма ЛСоТ будет получен после проведения рыбоводно-биологических испытаний на молоди осенней кеты в производственных условиях Приморского филиала ФГБУ «Главрыбвод».

Благодарности

Авторы благодарны коллективу экспериментального кормоцеха ТИНРО за содействие при изготовлении образцов корма ЛСоТ.

Финансирование работы

Результаты настоящего исследования были получены в рамках выполнения Государственной работы «Проведение прикладных исследований» (раздел 3 государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00005-19-00).

Соблюдение этических стандартов

Настоящая статья не содержит исследований с использованием животных в качестве объектов.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

А.Н. Баштовой — организация, планирование и проведение экспериментов, обработка данных, написание и редактирование статьи; Е.П. Караулова — проведение экспериментов, обработка данных, редактирование статьи; Г.Н. Тимчишина и К.Г. Павель — написание, оформление и редактирование статьи; П.Л. Пасечник — идея эксперимента и участие в его организации, планировании и проведении.

Список литературы

Баштовой А.Н., Павель К.Г., Самойленко Г.В. Технология кормовой добавки из отходов при разделке лососевых // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 175. — С. 321–332.

Баштовой А.Н., Ярочкин А.П., Валова В.Н. и др. Сравнительная оценка стартовых традиционных и ферментированных комбикормов для молоди тихоокеанских лососей // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 223–234. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-223-234.

Гамыгин Е.А., Багров А.М. Некоторые аспекты и проблемы кормов и кормопроизводства для рыб на современном этапе // Рыбоводство и рыбное хозяйство. — 2014. — № 2. — С. 62–67.

- Грозеску Ю.Н.** Инновационные методы повышения эффективности кормления осетровых рыб на основе использования в рационах нетрадиционного кормового сырья и биологически активных препаратов : автор. дис. ... д-ра сельскохозяйственных наук. — Усть-Кинельский, 2016. — 34 с.
- Досон Р., Эллиот Д., Эллиот У., Джонс К.** Справочник биохимика. — М. : Мир, 1991. — 544 с. (Пер. с англ.)
- Канидьев А.Н.** Биологические основы искусственного разведения лососевых рыб : моногр. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1984. — 216 с.
- Кузьмина В.В.** Физиолого-биохимические основы экзотрофии рыб : моногр. — М. : Наука, 2005. — 300 с.
- Лазаревский А.А.** Техничко-химический контроль в рыбообрабатывающей промышленности : пособие для работников заводских и исслед. лабораторий. — М. : Пищепромиздат, 1955. — 520 с.
- Лебская Т.К., Мухина И.Н.** Эффективность биологически активных добавок в стартовых кормах для атлантического лосося // Марикультура Северо-Запада России : тез. докл. науч.-практ. конф. — Мурманск, 2000. — С. 30–31.
- Мухин В.А., Новиков В.Ю.** Ферментативные белковые гидролизаты тканей морских гидробионтов: получение, свойства и практическое использование : моногр. — Мурманск : ПИНРО, 2001. — 97 с.
- Остроумова И.Н.** Биологические основы кормления рыб : моногр. — СПб. : ГосНИОРХ, 2001. — 372 с.
- Остроумова И.Н.** Биологические основы кормления рыб. 2-е изд., испр. и доп. : моногр. — СПб. : ГосНИОРХ, 2012. — 564 с.
- Пименов Ю.Т., Пономарев С.В.** Инновационные разработки Астраханского государственного технического университета в области аквакультуры // Тез. докл. Междунар. науч. конф. «Инновационные технологии аквакультуры». — Ростов н/Д, 2009. — С. 106–110.
- Помоз А.С., Ярочкин А.П., Никулин Ю.П. и др.** Безопасность и биологическая ценность ферментированных кормовых продуктов из отходов переработки дальневосточных рыб // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 168. — С. 301–309.
- Пономарев С.В.** Биологические основы кормления лососевых рыб в раннем постэмбриогенезе : дис. ... д-ра биол. наук. — М. : ВНИИПРХ, 1995. — 373 с.
- Пономарев С.В., Гамыгин Е.А., Канидьев А.Н.** Физиологические основы создания полноценных комбинированных кормов с учетом этапности развития организма лососевых и осетровых рыб // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2010. — № 1. — С. 132–139.
- Пономарев С.В., Гамыгин Е.А., Никонов С.И. и др.** Технологии выращивания и кормления объектов аквакультуры юга России (справочное, учебное пособие). — Астрахань : Нова плюс, 2002. — 264 с.
- Пономарев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А.** Корма и кормление рыб в аквакультуре : учеб. — М. : Моркнига, 2013. — 417 с.
- Пономарев С.В., Пономарева Е.Н.** Технологические основы разведения и кормления лососевых рыб в индустриальных условиях : моногр. — Астрахань : АГТУ, 2003. — 186 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.
- Dabrowski K., Rusiecki M.** Content of total and free amino acids in zooplanktonic food of fish larvae // Aquaculture. — 1983. — Vol. 30, Iss. 1–4. — P. 31–42. DOI: 10.1016/0044-8486(83)90149-7.
- 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.

References

- Bashtovoy, A.N., Pavel, K.G., and Samoylenko, G.V.,** Technology for feed additive based on waste of salmon cutting, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 175, pp. 321–332.
- Bashtovoy, A.N., Yarochkin A.P., Valova, V.N., Timchishina, G.N., Pavel, K.G., Yakush, E.V., Pavlovsky, A.M.,** Comparative evaluation of starting traditional and fermented mixed fodders for juveniles of pacific salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 223–234. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-223-234
- Gamygin, E.A. and Bagrov, A.M.,** Some aspects and problems of feed and fodder production for fish at the present stage, *Fish farming and fisheries*, 2014, no. 2, pp. 62–67.
- 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, *Extended Abstract of Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Ust-Kinelsky, 2016.

Dawson, R., Elliot, D., Elliot, W., and Jones, K., Handbook of Biochemist, Moscow: Mir, 1991.
Kanid'ev, A.N., *Biologicheskie osnovy iskusstvennogo razvedeniya lososevykh ryb* (Biological Bases of Artificial Breeding of Salmonid Fishes), Moscow: Legkaya i Pishchevaya Promyshlennost', 1984.

Kuzmina, V.V., *Fiziologo-biokhimicheskiye osnovy ekzotrofii ryb* (Physiological and biochemical basics of fish exotrophy), Moscow: Nauka, 2005.

Lazarevsky, A.A., *Tekhniko-khimicheskiy kontrol' v ryboobrabatyvayushchey promyshlennosti: posobiye dlya rabotnikov zavodskikh i issled. laboratoriy* (Technical and chemical control in the fish processing industry: a manual for factory workers and research. laboratories), Moscow: Pishchepromizdat, 1955.

Lebskaya, T.K. and Mukhina, I.N., Efficiency of dietary supplements in starter feeds for Atlantic salmon, in *Tezisy dokl. naucho-prakt. konf. "Marikul'tura Severo-Zapada Rossii"* (Proc. Sci.-Pract. Conf. "Mariculture of the North-West of Russia"), Murmansk, 2000., pp. 30–31.

Mukhin, V.A. and Novikov, V.Yu., *Fermentativnyye belkovyye gidrolizaty tkaney morskikh gidrobiontov: poluchenije, svoystva i prakticheskoye ispol'zovaniye* (Enzymatic protein hydrolysates of marine hydrobiont tissues: production, properties and practical use), Murmansk: PINRO, 2001.

Ostroumova, I.N., *Biologicheskiye osnovy kormleniya ryb* (Biological basis of fish feeding), St. Petersburg: GosNIORKh, 2001.

Ostroumova, I.N., *Biologicheskiye osnovy kormleniya ryb* (Biological basis of fish feeding), St. Petersburg: GosNIORKh, 2012. 2nd ed.

Pimenov, Yu.T. and Ponomarev, S.V., Innovative developments of the Astrakhan State Technical University in the field of aquaculture, *Tezisy dokl. Mezhdunar. nauchn. konf. "Innovatsionnyye tekhnologii akvakul'tury"* (Proc. Int. Sci. Conf. "Innovative technologies of aquaculture"), Rostov-on-Don, 2009, pp. 106–110.

Pomoz, A.S., Yarochkin, A.P., Nikulin, Yu.P., Prudchenko, L.I., and Sakharova, O.V., Safety and biological value of fermented fodder products from processing waste of Far Eastern fish, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 168, pp. 301–309.

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

Ponomarev, S.V., Gamigin, E.A., Canidiev, A.N., Physiological statement of creation of the valuable combined diets taking into consideration the stages of development of salmon and sturgeon, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2010, no.1, pp. 132–139.

Ponomarev, S.V., Gamigin, E.A., Nikonorov, S.I., Ponomareva, E.N., Grozescu, Yu.N., Bakhareva, A.A., *Tekhnologii vyrashchivaniya i kormleniya ob'yektov akvakul'tury yuga Rossii (spravochnoye, uchebnoye posobiye)* (Technologies for growing and feeding aquaculture facilities in the south of Russia (reference, training manual)), Astrakhan: Nova Plus, 2002.

Ponomarev, S.V., Grozescu, Yu.N., and Bakhareva, A.A., *Korma i kormleniye ryb v akvakul'ture* (Feed and feeding fish in aquaculture), Moscow: Morkniga, 2013.

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

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

Dabrowski, K. and Rusiecki, M., Content of total and free amino acids in zooplanktonic food of fish larvae, *Aquaculture*, 1983, vol. 30, no. 1–4, pp. 31–42. doi 10.1016/0044-8486(83)90149-7

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

Поступила в редакцию 21.10.2019 г.

После доработки 25.10.2019 г.

Принята к публикации 29.10.2019 г.