



Аквакультура / Aquaculture

Замена рыбной муки на белковые компоненты микробного, животного и растительного происхождения в кормах для двухлеток сиговых (*Coregonidae*)

Остроумова И.Н., Лютиков А.А., Костюничев В.В., Шумилина А.К., Вылка М.М.

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), наб. Макарова, 26, г. Санкт-Петербург, 199053

E-mail: irinaostroum@yandex.ru

Цель работы: определить возможность замены рыбной муки на другие белковые компоненты в составе кормов для двухлеток сиговых.

Используемые методы: сиговые выращивались в садках на экспериментальных, контрольных и импортных кормах в течение вегетационных периодов 2018, 2019 и 2020 гг. Исследовали скорость роста рыб и физиологическое состояние по индексу печени, показателям крови, содержанию общего жира и витамина С в теле и печени.

Новизна: использование в кормах для двухлеток сиговых новых отечественных белковых компонентов – концентрата микробного белка (бактериальная биомасса на природном газе), Агро-Матика (смесь бобовых компонентов с мясной мукой – переработанные продукты птицеферм), Протефида (концентрат соевого сырья).

Результаты: двухлетки сиговых, получавшие корма с заменой 30–50% рыбной муки на указанные белковые компоненты, не отличались по скорости роста от роста рыб, выращиваемых на контрольных кормах без заменителей рыбной муки, но отставали по росту от рыб, питавшихся импортным кормом. При повышении в составе экспериментальных кормов рыбьего жира с 14–16 до 20–22% конечная масса сиговых достигла массы рыб, содержащихся на финском корме. Физиологическое состояние рыб на всех вариантах кормов не отклонялось от нормы.

Практическая значимость: освоение производства Агро-Матика, Протефида и возможность увеличения производства концентрата микробного белка позволяют использовать их в качестве заменителей рыбной муки в составе полноценных кормов для индустриального рыбоводства.

Ключевые слова: Корма, сиговые, рыбная мука, замена, рост, физиологические показатели.

Replacement of fishmeal for protein components of microbial, animal and plant origin in feed for two-year-old whitefish (*Coregonidae*)

Irina N. Ostroumova, Anatoly A. Lyutikov, Valery V. Kostyunichev, Alla K. Shumilina, Maxim M. Vylka

St. Petersburg branch of «VNIRO» (L.S. Berg «GosNIORKh»), emb. Makarova, 26, St. Petersburg, Russia, 199053

The purpose of the work: To determine the possibility of replacing fishmeal with other protein components in the composition of feed for two-year-old whitefishes.

Methods used: whitefish were grown in cages on experimental, control and imported feeds during the growing seasons of 2018, 2019 and 2020.

The growth rate of fish and the physiological state of the liver index, blood parameters, total fat and vitamin C content in the body and liver were studied.

Novelty: the use of new domestic protein components in feed for whitefishes – microbial protein concentrate (bacterial biomass on natural gas), Agro-Matike (a mixture of legume components with meat flour – processed products of poultry farms), Protefid (soy concentrate).

Results: Two-year-old whitefish fed feed with the replacement of 30–50% of fishmeal with the indicated protein components did not differ in growth rate from the growth rate of fish reared on control feeds without of fishmeal substitutes, but lagged behind in growth from fish fed on imported feed. With an increase in the composition of experimental feeds of fish oil from 14–16 to 20–22%, the final weight of whitefish reached the weight of fish on the Finnish feed. The physiological state of fish on all variants of feed did not deviate from the norm.

Practical significance: the mastered production of Agro-Matik, Protefid and the possibility of increasing the production of microbial protein concentrate make it possible to use them as substitutes for fishmeal in the composition of complete feeds for industrial fish farming.

Keywords: Feed, whitefish, fishmeal, replacement, growth, physiological indicators.

ВВЕДЕНИЕ

В аквакультуре накоплен большой опыт по выращиванию форели, осетровых, карпа в промышленных условиях. Товарное промышленное сиговодство является сравнительно новым направлением. Его развитию способствовала разработка методических основ технологии производства сиговых разных видов в садках и бассейнах на искусственных кормах [Костюничев и др., 2012 а, б].

Важнейшим элементом эффективности промышленного рыбоводства является удовлетворение пищевых потребностей рыб, особенно в полноценном по аминокислотному составу белке. Основным источником полноценного белка в кормах рыб долгое время служила рыбная мука. Вместе с тем, в последнее время дефицит рыбной муки и нередко её плохое качество сдерживают развитие аквакультуры, особенно её промышленных форм. Поиск источников белка, способных заменить рыбную муку, становится приоритетной задачей современных инновационных мировых исследований в области полноценного кормления выращиваемых рыб. В качестве альтернативных белковых компонентов используются переработанные продукты животноводства и птицеводства, высокобелковые растительные культуры, особенно соевые, водоросли и микроводоросли, мидии, зоопланктон, мучные и земляные черви, личинки мух, микробные продукты [Sealey et al., 2011; Arnauld et al., 2016; Лагуткина, 2017; Крогдаль, 2017; Daniel, 2018]. Для изготовления полноценных отечественных рыбных кормов особую роль в настоящее время приобретают исследования возможности замены рыбной муки белковыми компонентами, выпускаемыми отечественной промышленностью, либо компонентами с ближайшей перспективой промышленного производства.

Целью настоящей работы было исследование возможности замены рыбной муки в составе кормов для сиговых на новые отечественные белковые концентраты микробного, животного и растительного происхождения (гаприн, Агро-Матик, Протефид) и изучить их влияние на рыбоводно-биологические и физиологические показатели рыб.

Гаприн представляет собой биомассу метанооксилирующих бактерий *Methylococcus capsulatus*, культивируемых на природном газе – метане. Производство гаприна впервые было освоено в 70–80-х гг. прошлого столетия во ВНИИСинтезбелок. Исследованиями ГосНИОРХ была показана высокая эффективность его использования в кормлении рыб разных видов и возраста [Остроумова и др., 1991; Тимошина, Мосейчук, 1991; Фомин, 1991]. В современных условиях производство обновлённого гаприна организовано в ООО «ГИПРО-

БИОСИНТЕЗ». Позднее его стали называть концентратом микробного белка (в дальнейшем – Dreamfeed). Основу этого продукта так же представляют метанотрофные бактерии *M. capsulatus*, но более эффективного метанооксиляющего штамма ГБС-15.

Результаты использования этого микробного белка в кормах для личинок сиговых рыб показали, что он является адекватным приоритетным элементом стартового питания [Остроумова и др., 2018]. Состав его приближается к составу естественной пищи молоди – зоопланктону по содержанию общего белка и разнообразным по размеру пептидам. Вместе с тем высокое количество белка – 60–70%, который по аминокислотному составу близок к рыбной муке, позволяет использовать этот компонент и в продукционных кормах.

Агро-Матик – состоит из двух компонентов: белков растительного (рода люпин – *Lupinus*) и животного (мясная мука – побочный продукт птицефабрик) происхождения. Содержит 55% белка, 10% жира. Стабилизируется антиоксидантом. Производитель – фирма «Агро-Матик», имеющая производственные мощности в нескольких областях страны, выпускает продукцию с 2006 г. для животноводства и птицеводства. Агро-Матик показал хорошие результаты при включении в корма осетровых [Ставцев, 2022].

Протефид – белковый концентрат на основе соевого сырья с высоким содержанием протеина – 75% при уровне жира 0,6%. Это новый компонент отечественного производителя «Партнер-М», который создаёт различную продукцию в пищевых и кормовых целях с 2005 г. и успешно занимается её экспортом.

Существует много работ, в которых показано, что выпускаемый зарубежными фирмами концентрат соевого белка является отличным источником растительного протеина, заменяющего рыбную муку в составе кормов для объектов аквакультуры, в том числе форели и лосося [Гайваронская, 2019]. Положительные результаты были получены и на сеголетках сиговых масосой от 2–4 г при включении в их корма концентрата и изолята соевого белка [Остроумова и др., 2019]. В отличие от указанных импортных соевых продуктов Протефид выпускается в России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Корма с включением заменителей рыбной муки по разработанным ГосНИОРХ рецептам готовились методом экструзии в ООО «Нева Тропик» (2018 г.) и в отделе кормов и кормовых компонентов ВНИРО (2019 и 2020 гг.). Особенности состава кормов № 1–13 с заменой рыбной муки на концентрат микробного белка, Агро-Матик и Протефид приведены

в табл. 1 и 2. Корма сходны по питательной ценности. Контрольные варианты (без заменителей рыбной муки) помечены буквой К (№ 1К, № 4К и № 9К).

В составе рецептов, помимо указанных компонентов, присутствовали мясная и пшеничная мука, соевые шроты, кормовые дрожжи, рыбий жир, льняное масло,

премиксы витаминов и минеральных веществ и другие физиологически активные добавки.

Для сравнения результатов, получаемых на экспериментальных и контрольных кормах, использовали корм Ройял одной из ведущих западных фирм – «Райсиоагро» (Финляндия).

Таблица 1. Особенности состава кормов в 2018 и 2019 гг. и их питательные вещества, %

Table 1. Features of the feed composition in 2018 and 2019 and their nutrients, %

| Компоненты | 2018 г. | | | | 2019 г. | | | |
|-------------------------|---------|------|------|------|---------|------|------|------|
| | № 1К | № 2 | № 3 | № 4К | № 5 | № 6 | № 7 | № 8 |
| Рыбная мука | 34 | 24 | 19 | 40 | 30 | 30 | 20 | 20 |
| Микробный белок | – | 10 | 15 | – | – | – | – | – |
| Агро-Матик | – | – | – | – | 10 | 12 | 20 | – |
| Протефид | – | – | – | – | – | – | – | 20 |
| Рыбий жир | 14 | 14 | 14 | 16 | 16 | 16 | 14 | 14 |
| Питательные вещества, % | | | | | | | | |
| Белок | 48,2 | 48,6 | 48,9 | 49,8 | 49,5 | 49,3 | 49,1 | 51 |
| Жир | 17 | 16,6 | 16,3 | 17,4 | 17,5 | 17,8 | 17,4 | 16,1 |
| БЭВ* | 18,7 | 18,8 | 18,7 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,9 | 14,9 |
| Клетчатка | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 2,0 | 2,0 |
| Зола | 6,6 | 6,1 | 5,8 | 7,5 | 7,6 | 7,26 | 7,8 | 5,8 |
| Лизин | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,6 | 3,5 | 3,35 | 3,3 | 3,3 |
| Метионин | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,45 | 1,4 | 1,7 |
| Са | 1,7 | 1,2 | 1,0 | 2,0 | 1,7 | 1,7 | 1,5 | 1,5 |
| Р | 1,2 | 1,0 | 0,9 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 0,9 | 0,9 |

* Безазотистые экстрактивные вещества.

Таблица 2. Особенности состава кормов с повышенным содержанием липидов, 2020 г., %

Table 2. Features of the feed composition in 2020 and their nutrients, %

| Компоненты | № 9К | № 10 | № 11 | № 12 | № 13 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| Рыбная мука | 40 | 28 | 20 | 28 | 28 |
| Агро-Матик | – | 12 | 20 | – | – |
| Протефид | – | – | – | 12 | 12 |
| Рыбий жир | 14 | 16 | 22 | 20 | 16 |
| Льняное масло | – | 4 | – | – | 4 |
| Питательные вещества, % | | | | | |
| Белок | 49,9 | 47,3 | 44,8 | 48,5 | 48,5 |
| Жир | 17,5 | 23,6 | 25,6 | 22,4 | 22,5 |
| БЭВ* | 15,4 | 12,4 | 12,1 | 11,5 | 11,5 |
| Клетчатка | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 1,6 | 1,6 |
| Зола | 7,5 | 6,9 | 6,4 | 6,2 | 6,2 |
| Лизин | 3,6 | 3,2 | 2,9 | 3,3 | 3,3 |
| Метионин | 1,5 | 1,9 | 1,8 | 1,83 | 1,83 |
| Са | 2,0 | 1,6 | 1,4 | 1,65 | 1,5 |
| Р | 1,2 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,2 |

* Безазотистые экстрактивные вещества.

Эксперименты с двухлетками сиговых рыб проводили на базе рыбного хозяйства ООО «Форват» (Ленинградская обл.) в садках размером 2,5×2,5×3,0 м, установленных в оз. Суходольское (Вуоксинская озёрно-речная система).

Опыты 2018 г. проходили с двухлетками муксуна *Coregonus muksun* (Pallas, 1814). Посадка рыб массой 97 г по 220 экз. в садок. Продолжительность опыта 57 сут с 7.09 по 4.11. Средняя температура 12,3 °С, которая снижалась в течение эксперимента с 19,4 до 6,2 °С. В связи с поздним из-за температурных условий началом опыта и длительным хранением изготовленных кормов их опрыскивали перед кормлением рыб витамином С (раствор с 2 г витамина на 1 кг корма) для поддержания антиоксидантной защиты липидов в организме рыб.

Опыты 2019 г. ставились с двухлетками чира *S. nasus* (Pallas, 1776). Посадка рыб массой 65 г по 160 экз. в садок. Продолжительность – 64 сут с 14.08. по 18.10. Температура составляла в среднем 17,5–18,5 °С, к концу экспериментов снизилась до 7,7 °С.

В опытах 2020 г. использовали двухлеток муксуна. Посадка по 150 экз. массой 25 г. Продолжительность – 148 сут с 20.05 по 16.10. Средняя температура – 16,5 °С при колебании от 9,3 до 20 °С и выше, т. е. в отдельные периоды превышала допустимый уровень для сиговых (20 °С). Содержание кислорода при этом не снижалось ниже 6 мг/л, а в основном колебалось в пределах 7–8 мг/л.

Кормление рыб проводили вручную с 8 ч утра до 10 ч вечера. Расчёт суточных норм корма и ухода за рыбой осуществляли по рекомендациям, разработанным ГосНИОРХ [Костюничев и др., 2012 а].

В ходе проведения экспериментов периодически проводили контрольные обловы и взвешивание 30–50 экз. рыб для наблюдения за ростом и для корректировки суточных норм кормления. В конце опыта взвешивали всю рыбу и отбирали пробы для анализов. Суточные приросты определяли по Г.Г. Винбергу [1956]. Кормовые коэффициенты – путём деления количества выданного корма на прирост. Используемые суточные нормы кормления [Костюничев и др., 2012 а] рассчитаны на активную поедаемость всей порции корма.

Анализ жира проводили методом Фолча с двумя растворителями [Folch et al., 1957]. Витамин С определяли по методу В.И. Бунина в модификации Л.М. Князева [1979]¹, показатели крови – общепринятыми методами [Головина, Тромбицкий, 1989]: гемоглобин крови – по Сали, мазки крови окрашивали

¹ Князева Л.М. 1979. Рекомендации по увеличению сроков хранения гранулированного корма для молоди форели путём опрыскивания его водным раствором витамина С. Л.: ГосНИОРХ, 12 с.

по методу Паппенгейма красителем-фиксатором Май-Грюнвальда с последующим докрашиванием азур-эозином по Романовскому.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эксперименты 2018 г. с заменой рыбной муки в кормах на концентрат микробного белка

В опытах 2018 г. в состав экспериментальных кормов вводили 10 и 15 % концентрата микробного белка (см. табл. 1), замещая, соответственно, 29 и 44 % рыбной муки в кормах. Интенсивность роста рыб, получавшей корма с заменителями, была в течение всего времени опыта сходной с ростом муксуна, содержащегося на контрольном и импортном кормах (табл. 3, рис. 1). Различия по конечной массе рыб были небольшими и статистически недостоверными. Достоверно ниже конечной массы рыб, получавших импортный корм, была лишь масса рыб на контрольном корме (177 против 207 г – на 17 %) при уровне значимости $P < 0,05$, что отразилось и на суточном приросте. По другим рыбоводно-биологическим показателям, включая кормовой коэффициент, существенных различий не отмечалось. Выживаемость во всех вариантах опыта составляла около 90 % и выше.

Физиологическое состояние всех рыб было нормальным. Показатели красной крови, индекса печени и уровня жира в теле и печени рыб колебались в основном в пределах референсных значений (нормы) (табл. 4). Опрыскивание витамином С экспериментальных и контрольного кормов сохранило нормальный уровень витамина С в организме рыб, несмотря на продолжительное хранение кормов. Известно, что основная масса аскорбиновой кислоты в рационах разрушается уже в первые месяцы их хранения [Soliman et al., 1987]. Длительная сохранность витамина в импортных кормах связана с использованием стабилизированной формы аскорбиновой кислоты, которая у нас не производится.

Не отмечено отклонений и в лейкоцитарной формуле у рыб, получавших разные корма (табл. 5).

Результаты определения рыбоводно-биологических и физиологических показателей двухлеток муксуна свидетельствуют о том, что замена значительной части белка рыбной муки на белок бактериальной биомассы не отразилась на питательной ценности рационов и не оказала негативного действия на белковый обмен, о чём свидетельствует нормальный рост рыб в течение всего времени эксперимента и отсутствие отклонений в их физиологическом состоянии.

Таблица 3. Результаты выращивания двухлеток муксуна на кормах с заменой рыбной муки на концентрат микробного белка. 2018 г.

Table 3. Growth of two-year-old muksun on feed with the replacement of fishmeal with microbial protein concentrate. 2018

| № | Корм | *Конечная масса, г 4.11.22 (57 сут) | Коефф. вариации массы, % | Суточный прирост, % | Выживаемость, % | Кормовой коефф. |
|----|--|--|-----------------------------|---------------------|-----------------|--------------------|
| | Особенности состава, % | | | | | |
| 1К | Рыбная мука – 34 Рыбий жир – 14 (Контроль) | 177±6,74 | 15,9 | 1,05 | 91 | 1,1 |
| 2 | Рыбная мука – 24 Микробный белок – 10 Рыбий жир – 14 | 193±9,40 | 12,5 | 1,20 | 88 | 1,2 |
| 3 | Рыбная мука – 19 Микробный белок – 15 Рыбий жир – 14 | 183±7,48 | 13,9 | 1,10 | 97 | 1,1 |
| | Ройял | 207±9,65 | 16,3 | 1,32 | 94 | 1,2 |

Примечание: *Начальная масса 7 сентября 97 г.

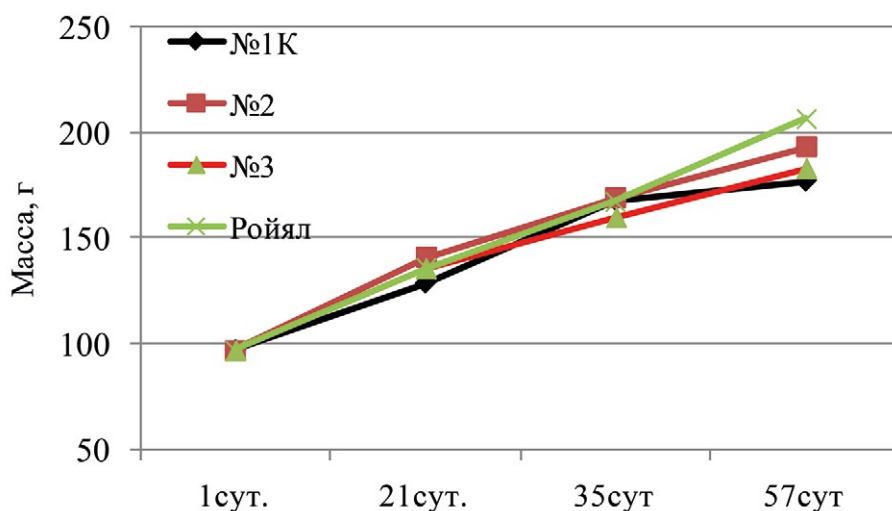


Рис. 1. Рост двухлеток муксуна на кормах с заменой рыбной муки на микробный белок: № 1К-контроль, № 2 – микробный белок-10%, № 3 – микробный белок-15%

Fig. 1. The growth of two-year-old muksun on feed with the replacement of fishmeal with microbial protein: No.1K-control, No.2-microbial protein-10%, No.3 – microbial protein-15%

Таблица 4. Физиологические показатели двухлеток муксуна на кормах с заменителями рыбной муки на концентрат микробного белка. 2018 г.

Table 4. Physiological parameters of two-year-old muksun on feed with fishmeal substitutes for microbial protein concentrate. 2018

| № | Корм Особенности состава, % | Гемоглобин, г/л | Незрелые эритроциты, % | Индекс печени, % | Жир, % | | Витамин. С, мкг/г | |
|----|--|-----------------|---------------------------|---------------------|--------|----------|-------------------|----------|
| | | | | | В теле | В печени | В теле | В печени |
| 1К | Рыбная мука – 34 Рыбий жир – 14 (Контроль) | 70±2,8 | 5,7±0,9 | 1,4±0,07 | 10,3 | 7,2 | 44,7 | 122,9 |
| 2 | Рыбная мука – 24 Микробный белок – 10 Рыбий жир – 14 | 67±4,5 | 5,6±0,57 | 1,5±0,08 | 11,5 | 7,8 | 44,4 | 122,9 |

| № | Корм Особенности состава, % | Гемоглобин, г/л | Незрелые эритроциты, % | Индекс печени, % | Жир, % | | Витамин. С, мкг/г | |
|---|--|-----------------|---------------------------|---------------------|-------------|------------|-------------------|---------------|
| | | | | | В теле | В печени | В теле | В печени |
| 3 | Рыбная мука – 19 Микробный белок – 15 Рыбий жир – 14 | 63±4,4 | 4,8±0,64 | 1,5±0,08 | 11,4 | 8,5 | 40,3 | 114,1 |
| | Ройял | 72±7,5 | 4,6±0,46 | 1,5±0,08 | 11,9 | 9,1 | 35,0 | 86,1 |
| | Норма | 60–100 | 5–20 | 1,1–1,5 | 9–13 | 3–7 | 20–100 | 60–120 |

Таблица 5. Морфология белой крови двухлеток муксуна на кормах с использованием заменителей рыбной муки. 2018 г.
Table 5. White blood morphology of two-year-old muksun on feed using substitutes for fishmeal. 2018

| Корм | Лимфоциты, % | Полиморфно-ядерные лейкоциты, % | Моноциты, % | Количество лейкоцитов на 500 эритроцитов (Абсолютное) |
|--------------|--------------|------------------------------------|-------------|--|
| 1К | 95,7±1,1 | 0,6±0,2 | 3,7±0,92 | 19,3±1,7 |
| 2 | 96,6±0,83 | 0,6±0,28 | 2,7±0,59 | 11,7±1,73 |
| 3 | 96,0±0,97 | 0,7±0,33 | 3,2±0,70 | 15,1±1,52 |
| Ройял | 96,8±0,72 | 0,8±0,33 | 2,4±0,50 | 14,8±1,55 |
| Норма | 80–98 | – | – | 10–25 |

Таким образом, проведённые испытания показали возможность использования концентрата микробного белка штамма ГБС-15 (бактериальная биомасса, культивируемая на природном газе) в качестве заменителя 30–40% рыбной муки в составе кормов для двухлеток сиговых.

Эксперименты 2019 г. с заменой рыбной муки в кормах на Агро-Матик и Протефид

В экспериментах 2019 г. при замене 10 и 20% рыбной муки, т. е. четвертой части и половины рыбной муки, на Агро-Матик (смесь люпина с мясной мукой из побочных продуктов птицефабрик) и на Протефид (соевый концентрат), скорость роста двухлеток чира была сходной с ростом рыб в контрольном варианте (табл. 6, рис. 2). Различия по конечной массе не достоверны. Не существенны различия и по суточному приросту и кормовому коэффициенту у рыб, получавших экспериментальные и контрольные корма.

Полученные результаты показали, что отечественные источники белка – смесь белка бобовых культур с белком мясных продуктов птицеферм, равно как и концентрат соевого белка могут заменить половину белка рыбной муки в кормах двухлеток сиговых без отрицательного влияния на скорость роста рыб.

Сходные данные представлены при использовании Агро-Матика и в кормах для осетровых [Ставцев, 2022]. В опытах с двухлетками и трёхлетками ленско-

го осетра при замене 25, 50 и 75% рыбной муки на Агро-Матик лучшие результаты получились на кормах при замене 50% муки.

Между тем, при отсутствии достоверных различий в скорости роста чира, получавшего контрольный и экспериментальные корма, рост рыб на финских кормах в наших опытах был существенно выше, чем на всех других кормах, о чем свидетельствует конечная масса рыб – 189 против 152–169 г (табл. 6). Различия достоверны при уровнях значимости $P < 0,05$ и $P < 0,01$. Интересно, что содержание жира в теле чира, получавшего импортный корм было значительно выше (на 12–22%), чем у рыб на экспериментальных кормах. При этом превышение скорости роста (на 11–20%), по сравнению с ростом рыб на экспериментальных кормах, было сопоставимо с повышением уровня жира в их теле. Отметим, что корм Ройял содержал больше жира – 24% при 48% белка, в то время как в экспериментальных кормах при введении рыбьего жира 14–16% общий уровень липидов не превышал 17–18% при содержании протеина около 50%.

Несмотря на имеющиеся различия в скорости роста физиологические показатели, включая гемоглобин, лейкоцитарную формулу, индекс печени, содержание жира и витамина С в теле рыб на всех вариантах кормов были в норме (табл. 7).

Колебания клеток белой крови также в основном не выходили за пределы нормы (табл. 8).

Таблица 6. Выращивание двухлеток чира на кормах с заменой рыбной муки на Агро-Матик и Протефид. 2019 г.

Table 6. Cultivation of two-year-old broad whitefish on feed with the replacement of fishmeal with Agro-matike and Protefid. 2019

| Корм, № | Особенности состава корма, % | *Конечная масса, г 18.10 (64 суток) | Коэффициент вариации массы, % | Суточный прирост, % | Кормовой коэфф. |
|---------|---|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------|
| 4К | Рыбная мука – 40 Рыбий жир – 16 | 169±6,5 | 9,2 | 1,48 | 1,0 |
| 5 | Рыбная мука – 30 Агро-Матик – 10 Рыбий жир – 16 | 167±4,9 | 16,5 | 1,46 | 1,0 |
| 6 | Рыбная мука – 30 Агро-Матик – 12 Рыбий жир – 16 | 166±4,5 | 12,4 | 1,45 | 1,0 |
| 7 | Рыбная мука – 20 Агро-Матик – 20 Рыбий жир – 14 | 163±5,9 | 15,3 | 1,43 | 1,2 |
| 8 | Рыбная мука – 20 Протефид – 20 Рыбий жир – 14 | 152±6,1 | 9,5 | 1,32 | 1,3 |
| Ройял | | 189±10,1 | 26,3 | 1,65 | 0,9 |

Примечание: * Начальная масса 14 августа 65 г.

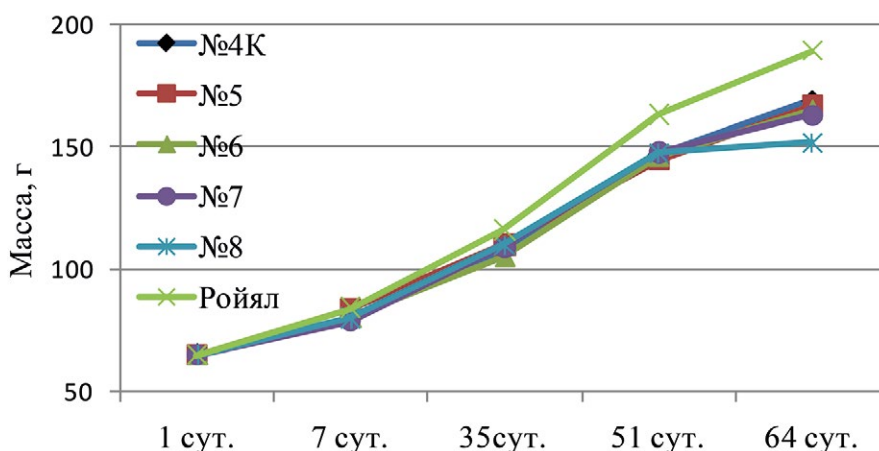


Рис. 2. Рост двухлеток чира на кормах с заменой рыбной муки на Агро-Матик и Протефид: № 4К-контроль, № 5-Агро-Матик – 10%, № 6-Агро-Матик – 12%, № 7- Агро-Матик-20%, № 8- Протефид – 20%

Fig. 2. The growth of two-year-old broad whitefish on feed with the replacement of fishmeal with Agro-Matike and Protefid. No.4K-control, No.5-Agro-Matike – 10%, No.6-Agro-Matike – 12%, No.7-Agro-Matike-20%, No.8-Protefid – 20%

Таблица 7. Физиологические показатели двухлеток чира на кормах с заменой рыбной муки на Агро-Матик и Протефид. 2019 г.

Table 7. Physiological indicators of two-year-old broad whitefish on feed with the replacement of fishmeal with Agro-Matike and Protefid. 2019

| Корм, № | Гемоглобин, г/л | Незрелые эритроциты, % | Индекс печени, % | Жир, % | | Витамин С, мкг/г | |
|--------------|-----------------|------------------------|------------------|-------------|------------|------------------|---------------|
| | | | | В теле | В печени | В теле | В печени |
| 4К | 101±2,9 | 5,9±0,55 | 1,3±0,1 | 9,6 | 6,6 | 23,1 | 95,4 |
| 5 | 91±3,8 | 6,0±0,83 | 1,3 ±0,1 | 10,5 | 7,5 | 22,5 | 88,9 |
| 6 | 89±4,4 | 6.3±0,70 | 1,4±0,1 | 10,3 | 7,0 | 21,5 | 88,2 |
| 7 | 78±3,3 | 3,9±0,30 | 1,4±0,1 | 9,8 | 7,7 | 22,3 | 78,3 |
| 8 | 75±3,0 | 5,1±0,46 | 1,2±0,1 | 10,1 | 6,2 | 21,5 | 95,6 |
| Ройял | 85± 3,8 | 3,8±0,97 | 1,5±0,1 | 12,6 | 8,1 | 27,4 | 80,5 |
| Норма | 70–110 | 5–20 | 1,1–1,5 | 9–13 | 3–7 | 20–100 | 60–120 |

Таблица 8. Морфология белой крови двухлеток чира на кормах с использованием заменителей рыбной муки. 2019 г.
Table 8. White blood morphology of two-year-old broad whitefish on feed using substitutes for fishmeal. 2019

| Корм, № | Лимфоциты, % | Полиморфно-ядерные, % | Моноциты, % | Количество лейкоцитов на 500 эритроцитов (Абсолютное) |
|--------------|--------------|-----------------------|-------------|---|
| 4К | 97,6±0,05 | 0,5±0,13 | 1,8±0,51 | 14,2±1,06 |
| 5 | 98,3±0,34 | 0,3±0,1 | 1,6±0,34 | 11,4±1,04 |
| 6 | 98,6±0,42 | 0,1±0,07 | 1,2±0,38 | 11,5±1,25 |
| 7 | 95,6±0,97 | 0,2±0,11 | 4,0±0,94 | 11,9±0,60 |
| 8 | 96,1±0,66 | 0,9±0,43 | 2,9±0,50 | 9,4±1,10 |
| Ройял | 96,7±0,75 | 0,4±0,21 | 2,8±0,58 | 8,8±0,77 |
| Норма | 80–98 | – | – | 10–25 |

Эксперименты 2020 г. с заменой рыбной муки на Агро-Матик и Протефид в кормах с повышенным уровнем жира

Учитывая результаты, полученные в опытах 2019 г., в следующем году в составе экспериментальных кормов с Агро-Матиком и Протефидом увеличили уровень липидов путём повышения рыбьего жира или рыбьего жира с льняным маслом до 20–22%. Это привело к тому, что рост рыб на экспериментальных кормах практически уже не отличался от роста на импортном корме. Конечная масса муксуна достигла или даже несколько превысила массу рыб на финском рационе (табл. 9, рис. 3). Контроль-

ная рыба, выращиваемая на корме с 14% рыбьего жира, отставала в росте. Колебания кормовых коэффициентов (0,9–1,4) связаны по всей вероятности в текущем году с высокой летней температурой, превышающей порой допустимый уровень для сиговых – 20 °С.

По физиологическим показателям (табл. 10) – содержанию гемоглобина, индексам печени, количеству жира и витамина С в теле и печени рыбы, получавших корма с Агро-Матиком и Протефидом при повышенном уровне липидов и импортный корм, не имели существенных различий. Параметры колебались в пределах нормы. Не отмечено патологии и по состоянию белой крови (табл. 11).

Таблица 9. Выращивание двухлеток муксуна на кормах с заменой рыбной муки на Агро-Матик и Протефид с повышенным содержанием жира. 2020 г.

Table 9. Cultivation of two-year-old muksun on feed with the replacement of fishmeal with Agro-Matike and Protefid with a high fat content. 2020

| Корм | Особенности состава корма, % | *Конечная масса, г 16.10 (148 сут) | Коэффициент вариации массы, % | Суточный прирост, % | Кормовой коэфф. |
|-------|--|------------------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------|
| № 9К | Рыбная мука – 40 Рыбий жир – 14 (Контроль) | 168±6,15 | 14,2 | 1,28 | 1,2 |
| № 10 | Рыбная мука – 28 Агро-Матик – 12 Рыбий жир – 16 Льняное масло – 4 | 192±5,97 | 21,7 | 1,37 | 0,9 |
| № 11 | Рыбная мука – 20 Агро-Матик – 20 Рыбий жир – 22 | 200±9,53 | 20,4 | 1,39 | 1,4 |
| № 12 | Рыбная мука – 28 Протефид – 12 Рыбий жир – 20 | 183±5,70 | 13,3 | 1,34 | 1,2 |
| № 13 | Рыбная мука – 28 Протефид – 12 Рыбий жир – 16 Льняное масло – 4 | 197±7,48 | 19,4 | 1,39 | 1,3 |
| Ройял | | 193±5,81 | 11,8 | 1,37 | 1,0 |

Примечание: * Начальная масса 20 мая 25 г.

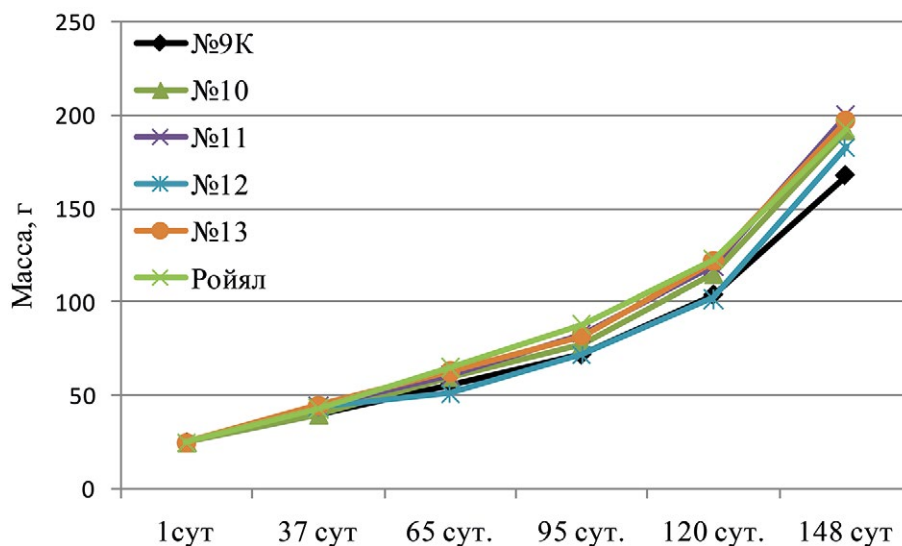


Рис. 3. Рост двухлеток муксуна на кормах с заменой рыбной муки на Агро-Матик и Протефид с повышенным введением липидов – до 20–22%

№ 9К – контроль, № 10 – Агро-Матик – 12%, № 11 – Агро-Матик – 20%, № 12 – Протефид – 12%, № 13 – Протефид – 12%

Fig. 3. The growth of two-year-old mussels on feed with the replacement of fishmeal with Agro-Matike and Protefid with increased lipid intake – up to 20–22%

No. 9K – control, No.10 – Agro-Matike – 12%, No.11 – Agro-Matike – 20%, No.12 – Protefid – 12%, No.13 – Protefid – 12%

Таблица 10. Физиологические показатели двухлеток муксуна, получавших корма с заменой рыбной муки на Агро-Матик и Протефид, с повышенным содержанием жира. 2020 г.

Table 10. Physiological parameters of 2-year-old mussels fed feed with the replacement of fishmeal with Agro-Matike and Protefid with a high fat content. 2020

| Корм, № | Гемоглобин, г/л | Незрелые эритроциты, % | Индекс печени, % | Жир, % | | Витамин С, мкг/г | |
|--------------|-----------------|------------------------|------------------|-------------|------------|------------------|---------------|
| | | | | В теле | В печени | В теле | В печени |
| № 9К | 56±1,21 | 8,1±0,77 | 1,4 | 8,9 | 7,2 | 30,6 | 116,6 |
| № 10 | 71±0,95 | 7,7±0,52 | 1,1 | 10,8 | 5,9 | 30,0 | 114,7 |
| № 11 | 69±1,84 | 8,8±1,0 | 1,3 | 12,0 | 6,9 | 36,2 | 106,4 |
| № 12 | 72±1,07 | 9,4±1,3 | 1,2 | 11,6 | 7,1 | 32,7 | 105,7 |
| № 13 | 69±1,66 | 9,3±0,94 | 1,2 | 10,7 | 6,7 | 34,6 | 114,4 |
| Ройял | 74±1,57 | 7,6±0,82 | 1,2 | 11,4 | 6,7 | 36,7 | 115,1 |
| Норма | 60–100 | 5–20 | 1,1–1,5 | 9–13 | 3–7 | 20–100 | 60–120 |

Таблица 11. Показатели белой крови двухлеток муксуна, получавших корма с заменой рыбной муки на Агро-Матик и Протефид, с повышенным содержанием жира. 2020 г.

Table 11. Parameters of white blood of 2-year-old mussels fed feed with the replacement of fishmeal with Agro-Matike and Protefid, with a high fat content. 2020

| Корм | Лимфоциты, % | Полиморфно-ядерные лейкоциты, % | Моноциты, % | Количество лейкоцитов на 500 эритроцитов, (Абсолютное) |
|--------------|--------------|---------------------------------|-------------|--|
| № 9К | 89,6±1,06 | 2,8±0,53 | 7,7± 0,91 | 15,1±1,21 |
| № 10 | 91,7±1,02 | 3,6±0,69 | 4,7±0,56 | 12,7±1,41 |
| № 11 | 90,6±0,87 | 3,2±0,47 | 6,2±0,59 | 14,3±1,38 |
| № 12 | 91,6±1,02 | 3,0±0,49 | 5,4±0,64 | 12,9±1,25 |
| № 13 | 91,4±1,02 | 3,0±0,49 | 5,5±0,62 | 10,5±1,54 |
| Ройял | 90,5±2,14 | 3,4±0,64 | 6,1±1,58 | 9,4±1,21 |
| Норма | 80–98 | – | – | 10–25 |

Полученные данные совпадают с результатами авторов, показавших возможность замены рыбной муки в составе кормов для разных видов рыб на различные источники белка без снижения скорости роста и без негативных последствий при балансировании питательных веществ рационов [Крогдаль, 2017; Sealey et al., 2011; Lu et al., 2015; Daniel, 2018 и др.].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о том, что 30–50% рыбной муки в составе кормов для выращивания товарных сиговых можно заменить на отечественные белковые продукты: концентрат микробного белка штамм ГБС-15, представляющий собой бактериальную биомассу на природном газе, Агро-Матик – смесь люпина и мясной муки (продукты птицеферм), Протефид – соевый концентрат. По темпу роста и физиологическим показателям двухлетки сиговых на этих кормах не отличаются от рыб, получающих контрольные корма без заменителей рыбной муки.

Увеличение рыбьего жира с 14–16% до 20–22% в составе кормов с заменителями рыбной муки повышает эффективность выращивания сиговых. При этом скорость роста рыб при нормальном физиологическом состоянии не отличается от таковых у рыб, получавших импортные корма одной из ведущих западных фирм.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 076–00005–20Пр.

ЛИТЕРАТУРА

- Винберг Г.Г. 1956. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: Белорусский ГУ. 251 с.
- Гайваронская С. 2019. Соевый концентрат – превосходный источник белка в кормах для объектов аквакультуры // Комбикорма, № 3. С. 36–38.
- Головина, Н.А., Тромбицкий И.Д. 1989: Гематология прудовых рыб. Кишинев: Штиинца. 160 с.
- Костюничев В.В., Князева Л.М., Шумилина А.К. 2012 а. Методические рекомендации по выращиванию товарных сигов (чир, муксун) в промышленных условиях // Сборник методических рекомендаций по промышленному выращиванию сиговых рыб для целей воспроизводства

и товарной аквакультуры. / Ред. А.К. Шумилина. СПб.: ГосНИОРХ. С. 85–102.

- Костюничев В.В., Князева Л.М., Шумилина А.К. 2012 б. Методические рекомендации по промышленному выращиванию товарных сигов (волховской сиг) на рыбноводных хозяйствах Ленинградской области // Сборник методических рекомендаций по промышленному выращиванию сиговых рыб для целей воспроизводства и товарной аквакультуры. Под ред. А.К. Шумилиной. СПб.: ГосНИОРХ. С. 169–186.
- Крогдаль А. 2017. Дилемма с рыбной мукой: какие есть альтернативы // Комбикорма. № 5. С. 61–64.
- Лагуткина Л.Я. 2017: Перспективное развитие мирового производства кормов для аквакультуры: альтернативные источники сырья // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. № 1. С. 67–78.
- Остроумова И.Н., Аршавский Д.С., Калкун В.К., Мосейчук К.Б., Смирнова Л.В., Траубе Ю.О. 1991. Эффективность использования гаприна в рационах карпа разного возраста // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Вып. 306. С. 37–46.
- Остроумова И.Н., Костюничев В.В., Лютиков А.А., Богданова В.А., Шумилина А.К., Данилова Т.П., Козьмина А.В., Филатова Т.А. 2018. Включение в стартовые корма для сиговых рыб (*Coregonidae*) бактериальной биомассы и белковых гидролизатов // Вопросы рыболовства. Т. 19, № 1. С. 82–98.
- Остроумова И.Н., Костюничев В.В., Лютиков А.А., Шумилина А.К., Филатова Т.А. 2019. Влияние замены рыбной муки на высокобелковые соевые продукты и гаприн в кормах для сеголеток сиговых рыб // Современное состояние водных биоресурсов. Мат. V Межд. конф. 27–29 ноября 2019 г. Новосибирск: Новосибирский Государственный университет. С. 322–325.
- Ставцев А.Э. 2022. Эффективность использования белкового концентрата «Агро-Матик» в кормлении осетровых рыб. Автореф. ... канд. с.-х. наук. Волгоград: Волгоградский ГАУ. 20 с.
- Тимошина Л.А., Мосейчук К.Б. 1991. Использование гаприна в кормах для радужной форели // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Вып. 306. С. 47–54.
- Фомин А.В. 1991. Использование гаприна и ферментализата БВК в стартовом корме для молоди кеты // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Вып. 306. С. 67–75.
- Arnauld S. M., Djissou A. S., Adjahouinou D. C., Koshio S., Fiogbe E. D. 2016. Complete replacement of fish meal by other animal protein sources on growth performance of *Clarias gariepinus* fingerlings // Intern. Aquatic research. V. 8. P. 333–341.
- Daniel N. 2018. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources // Intern. J. of Fisheries and Aquatic Studies. V. 6(2). P. 164–179.
- Folch J. A., Lees M., Sloane-Stanley G. H. 1957. Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // Biol. Chem. 226. N.1. P. 497–509.
- Lu F., Haga Y., Satoh S. 2015. Effects of replacing fish meal with rendered animal protein and plant protein sources on growth response, biological indices, and amino

- acid availability for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* // *Fisher. Science*. V.81. P. 95–105.
- Sealey W.M, Hardy R.W, Barrows F.T, Pan Q, Stone D.A. 2011. Evaluation of 100% fish meal substitution with chicken concentrate, protein poultry by-product blend, and chicken and egg concentrate on growth and disease resistance of juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* // *J. World Aquac. Soc.* V. 42. P. 46–55.
- Soliman A.K., Jauncey K., Roberts R.I. 1987. Stability of L-ascorbic acid (vitamin C) and its forms in fish feeds during processing, storage and leaching // *Aquaculture*, 60: 73–83.
- REFERENCES**
- Vinberg G.G. 1956. Intensity of metabolism and nutritional needs of fish. Minsk: Belarusian State University. 251 p. (In Russ.).
- Gaivaronskaya S. 2019. Soy concentrate is an excellent source of protein in feed for aquaculture // *Compound feed*, No. 3. P. 36–38. (In Russ.).
- Golovina, N.A., Trombitsky I.D. 1989: Pond fish hematology. Kishinev: Shtiintsa. 160 p. (In Russ.).
- Kostyunichev V.V., Knyazeva L.M., Shumilina A.K. 2012 a. Guidelines for the cultivation of commercial whitefish (chir, muksun) in industrial conditions // *Collect. of methodological recommendations for the industrial cultivation of whitefish for the purposes of reproduction and commercial aquaculture.* / ed. A.K. Shumilina. SPb. GosNIORH. P. 85–102. (In Russ.).
- Kostyunichev V.V., Knyazeva L.M., Shumilina A.K. 2012 b. Guidelines for the industrial cultivation of marketable whitefish (Volkhov whitefish) on fish farms in the Leningrad Region // *Collect. of guidelines for the industrial cultivation of whitefish for the purposes of reproduction and commercial aquaculture.* / ed. A.K. Shumilina. SPb. GosNIORKh, p. 169–186 (In Russ.).
- Krogdal A. 2017. The fishmeal dilemma: what are the alternatives // *Compound feed*. No. 5. P. 61–64. (In Russ.).
- Lagutkina L. Ya. 2017. Prospective development of the world production of feed for aquaculture: alternative sources of raw materials // *Vestnik ASTU. Ser.: Fisheries* No. 1. P. 67–78. (In Russ.).
- Ostroumova I.N., Arshavsky D.S., Kalkun V.K., Moseychuk K.B., Smirnova L.V., Traube Yu.O. 1991. The effectiveness of the use of gaprin in the diets of carp of different ages // *Collect. scientific papers of GosNIORKh. Iss. 306*. P. 37–46. (In Russ.).
- Ostroumova I.N., Kostyunichev V.V., Lyutikov A.A., Bogdanova V.A., Shumilina A.K., Danilova T.P., Kozmina A.V., Filatova T.A. 2018. Inclusion of bacterial biomass and protein hydrolysates into starter feeds for whitefish (Coregonidae) // *Fishing Issues*. V. 19, no. 1. P. 82–98. (In Russ.).
- Ostroumova I.N., Kostyunichev V.V., Lyutikov A.A., Shumilina A.K., Filatova T.A. 2019. Influence of replacing fishmeal with high-protein soy products and gaprin in feed for whitefish fingerlings // *Current state of aquatic bioresources. Proc. of the V Intern. Conf. November 27–29, 2019 Novosibirsk, Novosibirsk SAU*. P. 322–325. (In Russ.).
- Stavtsev A.E. 2022. Efficiency of using Agro-Matike protein concentrate in feeding sturgeons. PhD thesis. Volgograd, Volgograd SAU. 20 p. (In Russ.).
- Timoshina L.A., Moseychuk K.B. 1991. The use of gaprin in feed for rainbow trout // *Collect. scientific papers of GosNIORKh. Iss. 306*. P. 47–54. (In Russ.).
- Fomin A.V. 1991. Use of gaprin and BVK enzyme lysate in starter feed for young chum salmon // *Collect. scientific papers of GosNIORKh. Iss. 306*. P. 67–75. (In Russ.).
- Arnauld S.M., Djissou A.S., Adjahouinou D.C., Koshio S., Fiogbe E.D. 2016. Complete replacement of fish meal by other animal protein sources on growth performance of *Clarias gariepinus* fingerlings // *Intern. Aquatic research*. V. 8. P. 333–341.
- Daniel N. 2018. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources // *Intern. J. of Fisheries and Aquatic Studies*. V. 6(2). P. 164–179.
- Folch J.A., Lees M., Sloane-Stanley G.H. 1957. Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // *Biol. Chem.* 226. N.1. P. 497–509.
- Lu F., Haga Y., Satoh S. 2015. Effects of replacing fish meal with rendered animal protein and plant protein sources on growth response, biological indices, and amino acid availability for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* // *Fisher. Science*. V.81. P. 95–105.
- Sealey W.M, Hardy R.W, Barrows F.T, Pan Q, Stone D.A. 2011. Evaluation of 100% fish meal substitution with chicken concentrate, protein poultry by-product blend, and chicken and egg concentrate on growth and disease resistance of juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* // *J. World Aquac. Soc.* V.42. P. 46–55.
- Soliman A.K., Jauncey K., Roberts R.I. 1987. Stability of L-ascorbic acid (vitamin C) and its forms in fish feeds during processing, storage and leaching // *Aquaculture*, 60: 73–83.

Поступила в редакцию 28.08.2022 г.
Принята после рецензии 24.11.2022 г.