

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ГИДРОБИОНТОВ

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF HYDROCOLE

Научная статья
УДК 639.371/374
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-1-95-105>
EDN MEWXBD

Влияние заменителей рыбьего жира в кормах сиговых рыб (*Coregonidae*) на рост, физиологические показатели и жирнокислотный состав липидов

И. Н. Остроумова[✉], *А. А. Лютиков,*
В. В. Костюничев, А. К. Шумилина, М. М. Вылка

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии»,
Санкт-Петербург, Россия, irinaostroum@yandex.ru[✉]

Аннотация. Приведены результаты исследования по замене рыбьего жира в составе кормов для двухлеток сиговых рыб на другие источники липидов. При замене пятой части рыбьего жира (4 из 20 %) на льняное масло существенной разницы по росту, выживаемости рыб, физиологическим показателям и по жирнокислотному составу липидов не отмечалось. В следующих опытах рыбий жир заменяли на льняное, соевое, рапсовое и рыжиковое масла. При замене 5, 7, 10 и 15 из 20 % рыбьего жира на льняное масло содержание омега-3 кислот в мышцах рыб увеличивалось с 9 до 27 %, в том числе сумма длинноцепочечных кислот – докозагексаеновой (ДГК) и эйкозапентаеновой (ЭПК) – с 2,4 до 23,5 %, что демонстрирует способность сиговых рыб трансформировать материнскую альфа-линоленовую кислоту, которой богато льняное масло, в полиненасыщенные длинноцепочечные кислоты. При этом количество мононенасыщенной олеиновой кислоты снижалось с 41,4 до 21,7 %. Улучшение жирнокислотного состава кормов при введении растительных масел вместо рыбьего жира свидетельствует о его низком качестве, на что указывают и высокая смертность, снижение витамина С, ухудшение жирнокислотного состава липидов у рыб, получавших корм с наибольшим количеством рыбьего жира. На основании учета всех показателей лучшие результаты получены при замене половины рыбьего жира на льняное масло (10 из 20 %). При этом сохранилось и качество рыбной продукции. Количество ДГК и ЭПК в 100 г мышц выращенных рыб составило 0,89 г, что удовлетворяет суточную потребность человека в этих важных для здоровья омега-3 кислотах. При замене рыбьего жира на рыжиковое, соевое и рапсовое масла результаты были несколько хуже.

Ключевые слова: сиговые рыбы, замена рыбьего жира, растительные липиды, льняное масло, рост, выживаемость, физиологические показатели, жирнокислотный состав липидов

Для цитирования: *Остроумова И. Н., Лютиков А. А., Костюничев В. В., Шумилина А. К., Вылка М. М.* Влияние заменителей рыбьего жира в кормах сиговых рыб (*Coregonidae*) на рост, физиологические показатели и жирнокислотный состав липидов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 1. С. 95–105. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-1-95-105>. EDN MEWXBD.

Original article

Effect of fish oil substitutes in white fish (*Coregonidae*) food on growth, physiological indicators and fatty-acid lipid composition

I. N. Ostroumova[✉], A. A. Lyutikov,
V. V. Kostyunichev, A. K. Shumilina, M. M. Vylka

Saint-Petersburg Branch Russian Federal "Research Institute of Fisheries and Oceanography",
Saint Petersburg, Russia, irinaostroum@yandex.ru[✉]

Abstract. The results of a study on the replacement of fish oil in the feed for two-year-old whitefish with other sources of lipids have been carried out. When replacing a fifth of the fish oil (4 out of 20%) with flaxseed oil, there was no significant difference in growth, fish survival, physiological parameters, and fatty acid composition of lipids. In the following experiments, fish oil was changed to linseed, soybean, rapeseed and camelina oils. When replacing 5, 7, 10 and 15 of 20% of fish oil with flaxseed oil, the content of omega-3 acids in fish muscles increased from 9 to 27%, including the sum of long-chain acids – docosahexaenoic (DHA) and eicosapentaenoic (EPA) – from 2.4 to 23.5%, which demonstrates the ability of whitefish to transform maternal alpha-linolenic acid, which is rich in linseed oil, into long-chain polyunsaturated acids. At the same time, the amount of monounsaturated oleic acid decreased from 41.4 to 21.7%. An improvement in the fatty acid composition of feed when vegetable oils were introduced instead of fish oil indicates its low quality, as indicated by high mortality, a decrease in vitamin C, and a deterioration in the fatty acid composition of lipids in fish that received food with the highest amount of fish oil. Based on the consideration of all indicators, the best results were obtained when replacing half of the fish oil with linseed oil (10% out of 20%). At the same time, the quality of fish products was preserved. The amount of DHA and EPA in 100 g of farmed fish muscle was 0.89 g, which satisfies the daily human need for these important omega-3 acids for health. When replacing fish oil with camelina, soybean and rapeseed oils, the results were slightly worse.

Keywords: whitefish, fish oil replacement, vegetable lipids, linseed oil, growth, survival, physiological parameters, fatty acid composition of lipids

For citation: Ostroumova I. N., Lyutikov A. A., Kostyunichev V. V., Shumilina A. K., Vylka M. M. Effect of fish oil substitutes in white fish (*Coregonidae*) food on growth, physiological indicators and fatty-acid lipid composition. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry.* 2024;1:95-105. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-1-95-105>. EDN MEWXBD.

Введение

Темпы развития аквакультуры в последнее время снизились из-за дефицита основных источников белка и липидов (рыбной муки и рыбьего жира) в рационах рыб. Замена белка рыбной муки на полноценный протеин путем подбора растительных и животных компонентов оказалась менее сложной задачей, чем замена рыбьего жира. Растительные масла, применяемые как заменители рыбьего жира, легко, как и рыбий жир, метаболизируются и используются в качестве энергии в организме рыб, не оказывая негативного влияния на рост, выживаемость, на аминокислотный, минеральный, витаминный составы их тканей [1–4]. Проблема заключается в жирнокислотном составе липидов. Липиды рыб богаты длинноцепочечными полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) семейства омега-3: ДГК (22 : 6n3) и ЭПК (20 : 5n3), которые играют ключевую роль в физиологии животных, но отсутствуют в липидах наземных растений. Некоторые виды растений содержат лишь незаменимую альфа-линоленовую кислоту (АЛК 18 : 3n3), которую пресноводные рыбы, обладающие соответствующими ферментами (десатуразами и элонгазами),

могут трансформировать в ДГК и ЭПК [5–8], но не всегда в достаточном количестве. У морских рыб такая способность утрачена или развита очень слабо, т. к. они обеспечивают свою потребность в необходимых жирных кислотах (ЖК) из естественной пищи, богатой ПНЖК омега-3, в том числе длинноцепочечными формами. Их рацион в аквакультуре должен содержать нужное количество ПНЖК. Таким образом, основным лимитирующим фактором при разработке полноценных кормов для аквакультуры является рыбий жир.

Несмотря на значительный объем исследований по замене рыбьего жира на другие источники липидов в диетах рыб, этот вопрос еще мало разработан с учетом видовых, возрастных, репродуктивных, экологических особенностей как морских, так и пресноводных рыб, с учетом количества и состава ЖК в используемых липидах.

В настоящей работе представлены исследования по включению в состав кормов двухлеток сиговых в качестве заменителей рыбьего жира различных растительных масел, содержащих АЛК. Кроме того, излагаются результаты замены части рыбьего жира желтком куриного яйца – источника

арахионовой кислоты (АРК 20 : 4n6). Дефицит АРК – известная проблема аквакультуры [9–12].

Материалы и методы

Испытания с двухлетками муксуна (*Coregonus muksun*) проводили в рыбхозе ООО «Форват» в садках, установленных в оз. Суходольское Вуоксинской озерно-речной системы (Ленинградская обл.). В качестве заменителей рыбьего жира использовали льняное, рапсовое, соевое и рыжиковое масла, которые содержат АЛК: льняное масло в количестве 35–65 % от суммы кислот, соевое – 6,8 %, рапсовое – 7–12 % [2, 13], рыжиковое – 36,7–37,7 % [14]. Куриный желток был выбран в качестве источника АРК.

Для оценки эффективности использования в аквакультуре разрабатываемых отечественных кормов проводили их сравнение с западным коммерческим кормом «Ройял» («Райсиоагро», Финляндия), содержащим, согласно проспекту, 48 % белка и 24 % жира. После прекращения поставки финских кормов (июль-август 2022 г.) использовали белорусский корм производства ЗАО «БНБК», включавший 49–51 % белка и 17–19 % жира.

Температурные условия в ходе проведения экспериментов с мая по октябрь были не всегда благоприятны. Температура воды в летнее время иногда превышала допустимый уровень для сиговых – 20 °С, когда приходилось снижать суточные дозы кормления. Все опыты завершались во второй половине октября (16–23 октября) при температуре 10–16 °С.

Эффективность кормов с разным содержанием растительных масел оценивали по рыбоводно-биологическим и физиологическим показателям.

Особое внимание уделяли содержанию ЖК в липидах мышц и печени, в процентах от суммы кислот. Количество ДГК и ЭПК в пересчете на граммы в 100 г мышечной ткани определяли с учетом жира в мышцах.

Анализы жирнокислотного состава липидов выполнены по заказу Санкт-Петербургского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ГосНИОРХ им. Л. С. Берга) в ООО «Аналитика, материалы, технология» методом газожидкостной хроматографии. Содержание жира определяли по Фолчу с двумя растворителями, витамина С – по методу В. И. Бунина в модификации Л. М. Князевой [15], показателей крови (содержание гемоглобина, эритроцитов, лейкоцитов, лейкоцитарную формулу) – общепринятыми методами [16, 17]. Статистическую обработку результатов проводили в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Замена пятой части рыбьего жира на льняное масло в составе кормов для двухлеток муксуна (опыт 1). Контрольный корм № 1 содержал 20 % рыбьего жира, в корме № 2 пятую часть рыбьего жира (4 %) заменяли на льняное масло. У рыб, выращиваемых на контрольном корме, конечная масса была несколько ниже, чем у муксуна, получавшего финский корм и корм с заменой рыбьего жира на льняное масло (табл. 1), но различия статистически недостоверны, нет существенной разницы и по другим рыбоводно-биологическим показателям.

Таблица 1
Table 1

Рыбоводно-биологические показатели двухлеток муксуна, опыт 1
Fish-breeding and biological parameters of two-year-old muksun, experiment 1

Корм	Липиды корма, %	Рыбоводно-биологические показатели				
		Индивидуальная масса рыбы, г	Выживаемость рыб, %	Общая биомасса, кг	Суточный прирост рыб, %	Кормовой коэффициент
№ 1 (контроль)	Рыбий жир – 20	177,6 ± 5,72	71,3	19,0	1,3	1,1
№ 2	Рыбий жир – 16 Льняное масло – 4	191,9 ± 5,97	78,7	22,6	1,4	0,9
Ройял	Нет данных	193,4 ± 5,81	70,7	20,5	1,4	1,0

Параметры красной и белой крови колебались в пределах референсных значений, т. е. не отклонялись от нормы у рыб, выращиваемых на всех вариантах кормов (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Показатели красной и белой крови у двухлеток муксуна на разных кормах
 Indicators of red and white blood in two-year-old muksun on different feeds

Корм	Показатели крови					
	Гемоглобин, г/л	Лимфоциты, %	Полиморфно-ядерные лейкоциты, %	Моноциты, %	Количество лейкоцитов на 500 эритроцитов, шт.	Незрелые эритроциты, %
№ 1 (контроль)	72,60 ± 1,12	90,9 ± 1,08	3,4 ± 0,48	5,70 ± 0,75	14,10 ± 0,87	10,0 ± 0,84
№ 2	70,80 ± 0,95	91,70 ± 1,02	3,60 ± 0,69	4,70 ± 0,56	12,70 ± 1,41	7,70 ± 0,52
Ройял	74,40 ± 1,57	90,50 ± 2,14	3,40 ± 0,64	6,10 ± 1,58	9,40 ± 1,21	7,60 ± 0,82
Референсные значения	70–110	80–98	–	–	10–25	5–25

Не наблюдалось существенной разницы и отклонений от нормы в содержании витамина С и общего жира в мышцах и печени двухлеток муксуна,

выращиваемых как на экспериментальных, так и на импортных кормах (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

Содержание витамина С и общего жира в мышцах и печени двухлеток муксуна, опыт 1

The content of vitamin C and total fat in the muscles and liver of two-year-old muksun, experiment 1

Корм	Индекс печени, %	Витамин С, мкг/г		Жир, %	
		в мышцах	в печени	в мышцах	в печени
№ 1 (контроль)	1,3	28,5	113,0	9,8	5,8
№ 2	1,1	30,0	114,4	10,8	5,9
Ройял	1,2	36,7	115,1	11,4	6,7
Референсные значения	1,1–1,5	20–100	80–120	9–13	3–7

Таким образом, замена пятой части рыбьего жира на льняное масло не вызвала ухудшения роста и физиологического состояния двухлеток муксуна.

Не отразилась она и на содержании ПНЖК в мышцах рыб, в том числе и на длинноцепочечных ДГК и ЭПК (табл. 4).

Таблица 4

Table 4

Жирные кислоты липидов мышц двухлеток муксуна, опыт 1

Fatty acids of muscle lipids in two-year-old muksun, experiment 1

Показатель	Корм		
	№ 1	№ 2	Ройял
Жирные кислоты, % от суммы			
18 : 1n9	4,2	9,9	7,8
18 : 2n6	17,3	18,9	44,2
20 : 4n6	0,21	0,13	0,18
18 : 3n3	5,0	6,6	13,5
20 : 5n3	6,5	4,9	1,7
22 : 6n3	17,8	17,0	7,2
∑ n6	30,8	28,1	47,0
∑ ω3	33,2	31,3	23,5
n3 / n6	1,1	1,1	0,5
ДГК + ЭПК, %	24,3	21,9	8,9
Жирные кислоты, г/100 г мышц			
ДГК + ЭПК	2,38	2,36	1,01

Существенно меньше ПНЖК было у рыб, питавшихся финским кормом.

Пересчет количества длинноцепочечных ПНЖК из процентов в граммы показал, что 100 г муксуна, выращенного на экспериментальных кормах, обеспечивает для человека двойную суточную норму ДГК и ЭПК, установленную Всемирной организацией здравоохранения: 0,5–1,0 г [8].

Замена рыбьего жира на соевое, рапсовое мас-

ла и желток куриного яйца в составе кормов для двухлеток муксуна (опыт 2). Контрольный корм № 3 содержал 20 % рыбьего жира. В составе кормов № 4–6 8 % рыбьего жира заменяли на соевое, рапсовое масла или куриный желток. При использовании растительных масел в экспериментальных кормах индивидуальная масса и общая биомасса рыбы была выше, чем в контрольном варианте (табл. 5).

Таблица 5

Table 5

Рыбоводно-биологические показатели двухлеток муксуна, получавших корма с разными липидами, опыт 2

Fish-breeding and biological parameters of two-year-old muksun fed with different lipids feeds, experiment 2

Корм	Липиды корма, %	Рыбоводно-биологические показатели				
		Индивидуальная масса рыбы, г	Выживаемость рыб, %	Общая биомасса, кг	Суточный прирост рыбы, %	Кормовой коэффициент
№ 3 (контроль)	Рыбий жир 20	180,0 ± 8,3	77	20,7	1,3	1,6
№ 4	Рыбий жир 12 Соевое масло 8	208,7 ± 7,2	75	23,6	1,5	1,3
№ 5	Рыбий жир 12 Рапсовое масло 8	191,8 ± 6,2	72	20,7	1,4	1,6
№ 6	Рыбий жир 12 Желток 8	171,0 ± 3,7	94	24,1	1,3	1,3
Ройял	Нет данных	203,9 ± 6,5	92	28,1	1,4	1,1

Достоверно более высокую среднюю массу, чем в контроле, при уровне значимости $P < 0,05$ имели двухлетки на кормах с включением соевого масла (корм № 4). Их рыбоводно-биологические показатели были сходны с показателями рыб, выращенных на финском корме. Выживаемость была практически одинаковой у рыб, получавших корма с рыбьим жиром и с его заменой на растительные масла, но самой высокой была выживаемость у рыб на кормах с желтком (№ 6) и на «Ройял» (94 и 92 % соответственно). Таким образом, замена 8 % рыбьего жира на другие источники липидов (корма № 4–6) не ухудшило рыбоводно-биологических показателей рыб на контрольном варианте, содержащем 20 % рыбьего жира.

Физиологическое состояние рыб не всегда отвечало норме, что, вероятно, связано с длительным (в течение 2-х месяцев) периодом высокой темпера-

туры воды в ходе опыта 2, превышающей допустимую (20 °C) для сиговых рыб. В этот период, независимо от состава кормов, содержание витамина С у всех рыб, включая получавших импортный, снизилось в мышцах и печени более чем в 2 раза по сравнению с референсными значениями (табл. 6).

Поскольку витамин С является активным антиоксидантом, его расход связан с увеличением процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в организме рыб при повышенной температуре [18]. Этим можно объяснить и снижение гемоглобина в ряде случаев (до 59–65 вместо 70–110 г/л) и повышенный (до 1,6 %) индекс печени. Об активизации ПОЛ свидетельствует и резкое уменьшение ПНЖК у рыб по сравнению с предыдущим опытом 1, который проходил в основном при благоприятной температуре.

Таблица 6

Table 6

Физиологические показатели двухлеток муксуна, получавших корма с разными липидами

Physiological parameters of two-year-old muksun fed with different lipids feed

Корм	Гемоглобин, г/л	Незрелые эритроциты, %	Индекс печени, %	Витамин С, мкг/г		Жир, %	
				в мышцах	в печени	в мышцах	в печени
№ 3	72,6 ± 2,58	7,0 ± 0,76	1,5 ± 0,06	9,3	29,0	10,9	6,9
№ 4	59,4 ± 3,57	13,2 ± 0,99	1,6 ± 0,08	10,4	36,6	11,3	6,7
№ 5	59,6 ± 5,34	19,1 ± 8,05	1,5 ± 0,08	9,8	29,5	13,1	6,4
№ 6	80,6 ± 1,16	9,2 ± 1,24	1,6 ± 0,05	11,7	29,0	12,8	7,0
Ройял	65,6 ± 7,03	22,1 ± 7,65	1,6 ± 0,10	9,4	32,3	12,6	9,3
Референсные значения	70–110	5–20	1,1–1,5	20–100	80–120	9–13	3–7

Известно, что ПНЖК являются начальным субстратом для окислительных процессов. Так, в опыте 1 содержание суммы ДГК и ЭПК у муксуна состав-

ляло на экспериментальных кормах 2,2 г в 100 г рыбы (см. табл. 4), в то время как в опыте 2 оно колебалось в пределах 0,2–0,8 г (табл. 7).

Таблица 7

Table 7

Содержание жирных кислот в липидах мышц двухлеток муксуна, опыт 2

The content of fatty acids in the lipids of the muscles of two-year-old muksun, experiment 2

Показатель	Корм				
	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	Ройял
Жирные кислоты, % от суммы					
18 : 1n9	17,6	12,5	14,9	13,7	40,3
18 : 2n6	4,1	8,5	1,2	1,7	6,8
20 : 4n6	–	–	0,2	–	–
18 : 3n3	2,1	2,5	2,0	1,1	1,1
20 : 5n3	0,7	0,5	0,6	0,4	2,7
22 : 6n3	1,1	4,3	5,7	1,3	0,5
∑ n6	12,7	19,2	10,8	11,7	9,3
∑ ω3	18,9	15,2	17,8	16,1	12,0
n3 / n6	1,5	0,8	1,6	1,4	1,3
ДГК + ЭПК, %	1,8	4,8	6,3	1,7	3,2
Жирные кислоты, г/100 г мышц					
ДГК + ЭПК	0,20	0,54	0,82	0,22	0,40

Замена рыбьего жира на растительные масла привела к увеличению содержания ПНЖК, ДГК и ЭПК при снижении моноеновой олеиновой кислоты (18 : 1n9), по сравнению с рыбами в контрольном варианте и получавшими финский корм.

Включение соевого и рапсового масел вместо рыбьего жира не снизило показателей роста и выживаемости муксуна и положительно отразилось на жирнокислотном составе. Использование в качестве

заменителя рыбьего жира куриного желтка не отразилось на жирнокислотном составе липидов рыб.

Замена рыбьего жира на льняное, рыжиковое масла и желток куриного яйца в составе кормов для двухлеток муксуна (опыт 3). В составе кормов № 7–10 рыбий жир заменяли на разное количество льняного масла. В корме № 11 впервые использовали в качестве заменителя рыбьего жира рыжиковое масло.

На корме № 7, содержащем наибольшее количество рыбьего жира (15 %), отмечена очень высокая смертность рыб, что привело к разреженной плотности рыб и повышенной в связи с этим скорости роста оставшегося муксуна, но вызвало резкое

снижение (более чем в 2 раза) общей биомассы рыбы (табл. 8), уменьшение содержания витамина С в филе (табл. 9), ухудшение жирнокислотного состава липидов (табл. 10) за счет снижения ДГК, ЭПК и существенное увеличение олеиновой кислоты (18 : 1n9).

Таблица 8

Table 8

Выращивание муксуна на кормах с заменой рыбьего жира на другие источники липидов, опыт 3

Cultivation of muksun on feed with the replacement of fish oil with other lipids sources, experiment 3

Корм	Липиды корма, %	Рыбоводно-биологические показатели				
		Индивидуальная масса рыбы, г	Выживаемость рыб, %	Общая биомасса, кг	Суточный прирост рыбы, %	Кормовой коэффициент
№ 7	Рыбий жир – 15 Льняное масло – 5	191,2 ± 6,5	22	6,3	1,19	1,1
№ 8	Рыбий жир – 10 Льняное масло – 7 Желток – 5	162,4 ± 8,8	62	15,1	1,08	1,3
№ 9	Рыбий жир – 10 Льняное масло – 10	158,5 ± 7,9	71	16,9	1,07	1,3
№ 10	Рыбий жир – 5 Льняное масло – 15	177,0 ± 8,1	55	14,5	1,14	1,2
№ 11	Рыбий жир – 10 Рыжиковое масло – 10	159,9 ± 7,9	65	15,7	1,07	1,3
БНБК	Нет данных	166,4 ± 6,9	70	17,5	1,10	1,2

Таблица 9

Table 9

Физиологические показатели двухлеток сиговых, опыт 3

Physiological parameters of two-year-old whitefish, experiment 3

Корм	Гемоглобин, г/л	Эритроциты, млн/мкл	Индекс печени, %	Витамин С, мкг/г		Жир, %	
				в мышцах	в печени	в мышцах	в печени
№ 7	75,2 ± 2,6	1,0 ± 1,3	1,5 ± 0,05	19,3	97,7	5,2	6,7
№ 8	74,4 ± 3,9	0,76 ± 0,04	1,5 ± 0,08	24,5	96,5	6,3	10,7
№ 9	75,0 ± 3,4	0,87 ± 0,06	1,3 ± 0,07	22,5	99,3	5,3	9,7
№ 10	79,4 ± 2,6	0,70 ± 0,03	1,5 ± 0,04	23,7	92,1	5,4	11,8
№ 11	79,6 ± 1,7	0,75 ± 0,04	1,6 ± 0,06	25,3	93,6	5,8	9,1
БНБК	62,8 ± 5,5	0,82 ± 0,08	1,7 ± 0,06	23,1	107,5	5,6	9,8
Референсные значения	70–110	–	1,1–1,5	20–100	80–120	–	3–7

Содержание жирных кислот в липидах филе двухлеток муксуна, опыт 3
 The content of fatty acids in lipids of fillets of two-year-old moksun, experiment 3

Показатель	Корм					
	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11	БНБК
Жирные кислоты, % от суммы						
18 : 1n9	41,36	25,71	24,87	21,69	27,89	39,35
18 : 2n6	14,72	4,45	8,97	7,62	13,11	9,0
20 : 4n6	0,68	2,25	1,14	0,60	0,77	0,36
18 : 3n3	6,61	4,48	3,38	3,21	7,82	2,84
20 : 5n3	1,01	4,70	3,09	4,58	2,37	2,41
22 : 6n3	1,42	5,2	13,77	18,95	11,17	3,45
∑ n6	15,40	13,46	14,87	11,92	17,74	11,62
∑ ω3	9,04	17,24	21,26	27,14	23,0	9,89
n3 / n6	0,59	1,28	1,43	2,28	1,3	0,85
ДГК + ЭПК, %	2,43	9,9	16,86	23,53	13,54	5,86
Жирные кислоты, г/100 г мышц						
ДГК + ЭПК	0,13	0,62	0,89	1,27	0,78	0,33

Мононенасыщенная олеиновая кислота обычно образуется в организме из насыщенных кислот для сохранения проницаемости мембран, компенсируя потерю длинноцепочечных ПНЖК [19]. Замена рыбьего жира на льняное и рыжиковое масло положительно отразилось на выживаемости, общей биомассе, содержании витамина С в мышцах и на жирнокислотном составе (см. табл. 8–10), особенно на количестве омега-3 кислот. Так, при включении льняного масла вместо рыбьего жира в количестве 5, 7, 10 и 15 % содержание омега-3 кислот в мышцах муксуна составило 9, 17, 23 и 27 % соответственно, в том числе ДГК – 1,4; 5,2; 13,8 и 18,9 %, при этом пропорционально выросло и количество длинноцепочечных ПНЖК в 100 г рыбной продукции, а содержание олеиновой кислоты снизилось до 41,4; 25,7; 24,9 и 21,7 % соответственно.

Следует отметить, что обычно при замене рыбьего жира на различные растительные масла количество ДГК и ЭПК в мышцах рыб снижается [1, 4, 8, 20–22], но при использовании льняного масла, содержащего наибольшее количество материнской АЛК, которую многие рыбы способны преобразовывать в длинноцепочечные формы, это уменьшение часто менее значительно, чем при замене рыбьего жира на другие масла.

Полученные нами неожиданные результаты – увеличение ДГК в опыте 2 при замене рыбьего жира на соевое и рапсовое масла, а также увеличение ПНЖК омега-3 при замене на льняное и рыжиковое масла в опыте 3 объясняются, по всей вероятности, тем, что в составе экспериментальных кормов использовался не соответствующий техническим требованиям рыбий жир, характеризующийся низким содержанием омега-3 кислот, а возможно, и окисленностью липидов кормов и тканей

рыб при аномально высокой температуре, которая усиливает прогоркание липидов [18]. Снижение рыбьего жира и замена его на льняное и рыжиковое масла нормализовало в основном общее состояние рыб и стимулировало образование у рыб из материнской АЛК, которой много в рыжиковом и особенно в льняном масле, необходимого количества ДГК и ЭПК. Известно, что увеличение содержания АЛК может вызывать рост продукции ДГК и ЭПК [8].

Закключение

По результатам проведенных исследований установлено, что замена рыбьего жира на растительные масла, содержащие альфа-линоленовую кислоту, не снижают интенсивности роста и выживаемости рыб и что сиговые рыбы обладают необходимым количеством ферментов десатураз и элонгаз для преобразования альфа-линоленовой кислоты в длинноцепочечные ПНЖК. Лучшие результаты по выживаемости рыб, общей биомассе при нормализации жирнокислотного состава липидов получены при замене половины рыбьего жира на льняное масло (10 из 20 %). Замена такого же количества рыбьего жира на рыжиковое масло тоже положительно отразилось на жирнокислотном составе, но в меньшей степени, чем при замене на льняное масло.

Включение желтка в состав корма № 8 (опыт 3) привело к повышению содержания арахидоновой кислоты (20 : 4n6) до 2,25 % в филе рыб. Этот результат требует проверки, т. к. в опыте 2 (желток в корме № 8) не изменил содержания арахидоновой кислоты в мышцах муксуна.

Таким образом, представленные результаты экспериментов свидетельствуют о возможности

замены 50 % рыбьего жира на льняное масло в составе продукционных кормов для сиговых рыб, но для получения стабильных эффективных рыбоводно-биологических результатов и ценной в пищевом отношении рыбной продукции необходимо при

изготовлении кормов обращать самое пристальное внимание на качество используемых компонентов и особенно таких важных источников ПНЖК, как рыбий жир.

Список источников

- Schultz C., Knaus U., Wirth M., Rennert B. Effects of varying dietary fatty acid profile on growth performance, fatty acid, body and tissue composition of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*) // *Aquaculture Nutrition*. 2005. V. 11. P. 403–413.
- Turchini G. M., Torstensen B. E., Ng W. K. Fish oil replacement in finfish nutrition // *Reviews in Aquaculture*. 2009. V. 1. P. 10–57. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x>.
- Turchini G. M., Hermon K. M., Francis D. S. Fatty acids and beyond: fillet nutritional characterisation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed different dietary oil sources // *Aquaculture*. 2018. V. 491. P. 391–397. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.056>.
- Zhang W., Sun S., Ge X., Zhu J., Miao L., Lin Y., Su Y., Liang H., Pan W., Yu H., Huang X., Ji K. Effects of dietary lipid sources on growth performance, fatty acid composition and hepatic lipid metabolism of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* // *Aquaculture Nutrition*. 2018. V. 24. N. 6. P. 1652–1663. <https://doi.org/10.1111/anu.12800>.
- Коуи К., Сарджент Дж. Питание // Биознергетика и рост рыб. М.: Лег. и пищ. пром-ть, 1983. С. 8–69.
- Сушиц Н. Н. Роль незаменимых жирных кислот в трофометаболических взаимодействиях в пресноводных экосистемах (обзор) // *Журн. общей биологии*. 2008. Т. 69. № 4. С. 299–316.
- Tocher D. R. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective // *Aquaculture*. 2015. V. 449. P. 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.01.010>.
- Гладышев М. И. Наземные источники полиненасыщенных жирных кислот для аквакультуры // *Вопр. ихтиологии*. 2021. Т. 61. № 4. С. 471–485. DOI: 10.31857/S0042875221030048.
- Fuentes A., Fernández-Segovia I., Serra J. A., Barat J. M. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality // *Food Chemistry*. 2010. V. 119. P. 1514–1518.
- Norambuena F., Estevez A., Bell G., Carazo I., Duncan N. Proximate and fatty acid compositions in muscle liver and gonads of wild versus cultured broodstock of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) // *Aquaculture*. 2012. V. 356. P. 176–185.
- Нефедова З. А., Мурзина С. А., Пеккоева С. Н., Воронин В. П., Немова Н. Н. Сравнительная характеристика жирнокислотного состава липидов заводской и дикой молоди атлантического лосося *Salmo salar* L. // *Сибир. эколог. журн.* 2020. № 2. С. 197–204.
- Лютиков А. А. Сравнительная характеристика размерно-массовых показателей и липидного состава дикой и заводской икры муксуна *Coregonus muksun* (Pallas, 1814) // *Сибир. эколог. журн.* 2022. № 1. С. 100–110. DOI: 10.15372/SEJ20220109.
- Гамаюрова В. С., Ржечицкая Л. Э. Мифы и реальность в пищевой промышленности. II. Сравнение пищевой и биологической ценности растительных масел // *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2011. Т. 14. № 18. С. 146–155.
- Сизова Н. В., Пиккулева И. В., Чикунова Т. М. Жирнокислотный состав масла *Camelina sativa* (L.) *Crantz* и выбор оптимального антиоксиданта // *Химия растительного сырья*. 2003. № 2. С. 27–31.
- Князева Л. М. Рекомендации по увеличению сроков хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С. Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1979. 12 с.
- Головина Н. А., Тромбицкий И. Д. Гематология прудовых рыб. Кишинев: Штиинца, 1989. 160 с.
- Житенева А. Д., Макаров Э. В., Рудницкая О. А., Мирзоян А. В. Основы ихтиогематологии (в сравнительном аспекте). Ростов н/Д.: Изд-во АзНИИРХ, 2012. 320 с.
- Остроумова И. Н., Костюничев В. В., Лютиков А. А., Шумилина А. К., Вылка М. М. Влияние повышенной температуры на физиологическое состояние сиговых рыб (*Coregonidae*) при выращивании их в условиях аквакультуры // *Рыбное хозяйство*. 2022. № 1. С. 69–74. DOI: 10.37663/0131-6184-2022-1-69-74.
- Watanabe T. Lipid Nutrition in Fish // *Compendium of Biochemical Physiology*. 1982. V. 73B. N. 1. P. 3–15.
- Bell J. G., McEvoy J., Tocher D. R., McGhee F., Campbell P. J., Sargent J. R. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism // *Journal of Nutrition*. 2001. V. 131. P. 1535–1543. DOI: 10.1093/jn/131.5.1535.
- Mourente G., Good J. E., Bell J. G. Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects on flesh fatty acid composition, plasma prostaglandins E2 and F2a, immune function and effectiveness of a fish oil finishing diet // *Aquaculture Nutrition*. 2005. V. 11. P. 25–40.
- Биндюков С. В., Бурлаченко И. В., Баскакова Ю. А., Артемов П. В., Арнаутов М. В., Новоселова Ю. А., Гершунская В. В. Опыт замены рыбьего жира растительными маслами в комбикормах для радужной форели // *Тр. ВНИРО*. 2022. Т. 187. С. 138–148.

References

- Schultz C., Knaus U., Wirth M., Rennert B. Effects of varying dietary fatty acid profile on growth performance, fatty acid, body and tissue composition of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture Nutrition*, 2005, vol. 11, pp. 403-413.
- Turchini G. M., Torstensen B. E., Ng W. K. Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 2009, vol. 1, pp. 10-57. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x>.
- Turchini G. M., Hermon K. M., Francis D. S. Fatty acids and beyond: fillet nutritional characterisation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed different dietary oil sources. *Aquaculture*, 2018, vol. 491, pp. 391-397. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.056>.

4. Zhang W., Sun S., Ge X., Zhu J., Miao L., Lin Y., Su Y., Liang H., Pan W., Yu H., Huang X., Ji K. Effects of dietary lipid sources on growth performance, fatty acid composition and hepatic lipid metabolism of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. *Aquaculture Nutrition*, 2018, vol. 24, no. 6, pp. 1652-1663. <https://doi.org/10.1111/anu.12800>.
5. Kouli K., Sardzhent Dzh. *Pitanie. Bioenergetika i rost ryb* [Food. Bioenergy and fish growth]. Moscow, Legkaia i pishchevaia promyshlennost' Publ., 1983. Pp. 8-69.
6. Sushchik N. N. Rol' nezamenimykh zhirnykh kislot v trofometabolicheskikh vzaimodeistviiakh v presnovodnykh ekosistemakh (obzor) [The role of essential fatty acids in trophometabolic interactions in freshwater ecosystems (review)]. *Zhurnal obshchei biologii*, 2008, vol. 69, no. 4, pp. 299-316.
7. Tocher D. R. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, 2015, vol. 449, pp. 94-107. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.01.010>.
8. Gladyshev M. I. Nazemnye istochniki polinenasyshchennykh zhirnykh kislot dlia akvakul'tury [Terrestrial sources of polyunsaturated fatty acids for aquaculture]. *Voprosy ikhtiologii*, 2021, vol. 61, no. 4, pp. 471-485. DOI: 10.31857/S0042875221030048.
9. Fuentes A., Fernández-Segovia I., Serra J. A., Barat J. M. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality. *Food Chemistry*, 2010, vol. 119, pp. 1514-1518.
10. Norambuena F., Estevez A., Bell G., Carazo I., Duncan N. Proximate and fatty acid compositions in muscle liver and gonads of wild versus cultured broodstock of Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture*, 2012, vol. 356, pp. 176-185.
11. Nefedova Z. A., Murzina S. A., Pekkoeva S. N., Voronin V. P., Nemova N. N. Sravnitel'naia kharakteristika zhirkislotnogo sostava lipidov zavodskoi i dikoi molodi atlanticheskogo lososia *Salmo salar* L. [Comparative characteristics of the fatty acid composition of lipids of factory and wild juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* L.]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2020, no. 2, pp. 197-204.
12. Liutikov A. A. Sravnitel'naia kharakteristika razmerno-massovykh pokazatelei i lipidnogo sostava dikoi i zavodskoi ikry muksuna *Coregonus muksun* (Pallas, 1814) [Comparative characteristics of the size and mass parameters and lipid composition of wild and factory caviar of the muksun *Coregonus muksun* (Pallas, 1814)]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2022, no. 1, pp. 100-110. DOI: 10.15372/SEJ20220109.
13. Gamaiurova V. S., Rzhechitskaia L. E. Mify i real'nost' v pishchevoi promyshlennosti. II. Sravnenie pishchevoi i biologicheskoi tsennosti rastitel'nykh masel [Myths and reality in the food industry. II. Comparison of the nutritional and biological value of vegetable oils]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, vol. 14, no. 18, pp. 146-155.
14. Sizova N. V., Pikuleva I. V., Chikunova T. M. Zhirmokislotnyi sostav masla *Samelina sativa* (L.) Crantz i vybor optimal'nogo antioksidanta [The fatty acid composition of *Camelina sativa* (L.) Crantz oil and the choice of the optimal antioxidant]. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2003, no. 2, pp. 27-31.
15. Kniazeva L. M. *Rekomendatsii po uvelicheniiu srokov khraneniia granulirovannogo korma dlia molodi foreli putem opryskivaniia ego vodnym rastvorom vitamina S* [Recommendations for increasing the shelf life of granular feed for juvenile trout by spraying it with an aqueous solution of vitamin C]. Leningrad, Izd-vo GosNIORKh, 1979. 12 p.
16. Golovina N. A., Trombitskii I. D. *Gematologiya prudovykh ryb* [Hematology of pond fish]. Kishinev, Shtiintsa Publ., 1989. 160 p.
17. Zhiteneva A. D., Makarov E. V., Rudnitskaia O. A., Mirzozian A. V. *Osnovy ikhtiohematologii (v sravnitel'nom aspekte)* [Fundamentals of ichthyohematology (in a comparative aspect)]. Rostov-on-Don, Izd-vo AzNIIRKh, 2012. 320 p.
18. Ostroumova I. N., Kostyunichev V. V., Liutikov A. A., Shumilina A. K., Vylka M. M. Vliianie povyshennoi temperatury na fiziologicheskoe sostoianie sigovykh ryb (*Coregonidae*) pri vyrashchivanii ikh v usloviakh akvakul'tury [The effect of elevated temperature on the physiological state of whitefish (*Coregonidae*) when growing them in aquaculture]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2022, no. 1, pp. 69-74. DOI: 10.37663/0131-6184-2022-1-69-74.
19. Watanabe T. Lipid Nutrition in Fish. *Compendium of Biochemical Physiology*, 1982, vol. 73B, no. 1, pp. 3-15.
20. Bell J. G., McEvoy J., Tocher D. R., McGhee F., Campbell P. J., Sargent J. R. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. *Journal of Nutrition*, 2001, vol. 131, pp. 1535-1543. DOI: 10.1093/jn/131.5.1535.
21. Mourente G., Good J. E., Bell J. G. Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects on flesh fatty acid composition, plasma prostaglandins E2 and F2a, immune function and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Aquaculture Nutrition*, 2005, vol. 11, pp. 25-40.
22. Bindukov S. V., Burlachenko I. V., Baskakova Iu. A., Artemov R. V., Arnautov M. V., Novoselova Iu. A., Gershunskia V. V. Opyt zameny ryb'ego zhira rastitel'nymi maslami v kombikormakh dlia raduzhnoi foreli [Experience in replacing fish oil with vegetable oils in compound feeds for rainbow trout]. *Trudy VNIRO*, 2022, vol. 187, pp. 138-148.

Статья поступила в редакцию 14.06.2023; одобрена после рецензирования 26.09.2023; принята к публикации 26.02.2024
The article was submitted 14.06.2023; approved after reviewing 26.09.2023; accepted for publication 26.02.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Ирина Николаевна Остроумова – доктор биологических наук, профессор; главный научный сотрудник лаборатории аквакультуры; Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»; irinaostroum@yandex.ru

Irina N. Ostroumova – Doctor of Biological Sciences, Professor; Head Researcher of the Laboratory of Aquaculture; Saint-Petersburg Branch Russian Federal “Research Institute of Fisheries and Oceanography”; irinaostroum@yandex.ru

Анатолий Анатольевич Лютиков – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории аквакультуры; Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»; tokmo@mail.ru

Anatoliy A. Lyutikov – Candidate of Biological Sciences; Senior Researcher of the Laboratory of Aquaculture; Saint-Petersburg Branch Russian Federal “Research Institute of Fisheries and Oceanography”; tokmo@mail.ru

Валерий Валентинович Костюничев – кандидат биологических наук; заведующий лабораторией аквакультуры; Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»; kostyunichev@yandex.ru

Valeriy V. Kostyunichev – Candidate of Biological Sciences; Head of the Laboratory of Aquaculture; Saint-Petersburg Branch Russian Federal “Research Institute of Fisheries and Oceanography”; kostyunichev@yandex.ru

Алла Константиновна Шумилина – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории аквакультуры; Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»; allashumilina@yandex.ru

Alla K. Shumilina – Candidate of Biological Sciences; Leading Researcher of the Laboratory of Aquaculture; Saint-Petersburg Branch Russian Federal “Research Institute of Fisheries and Oceanography”; allashumilina@yandex.ru

Максим Михайлович Вылка – аспирант лаборатории аквакультуры; Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»; vylka.maxim@yandex.ru

Maxim M. Vylka – Postgraduate Student of the Laboratory of Aquaculture; Saint-Petersburg Branch Russian Federal “Research Institute of Fisheries and Oceanography”; vylka.maxim@yandex.ru

