

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 639.371/374

**ВВЕДЕНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ СЕМЕЙСТВА ОМЕГА-3 В СОСТАВ КОРМОВ  
ДЛЯ ЛИЧИНОК МУКСУНА**

© 2019 г. А. А. Лютиков

Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института  
рыбного хозяйства и океанографии им. Л. С. Берга (ГосНИОРХ), Санкт-Петербург, 199053  
E-mail: tokmo@mail.ru

Поступила в редакцию 15.04.2018 г.

Приведены результаты исследований по выращиванию личинок муксуна на искусственных экспериментальных кормах с добавлением докозагексаеновой и эйкозапентаеновой кислот. Показано, что дополнительное введение в корм этих кислот значительно повышает их уровень как в нейтральных липидах, так и в фосфолипидах личинок. У молоди муксуна, получавшей обогащенный жирными кислотами корм, в 3,5 и 7,0 раза соответственно выше содержание докозагексаеновой и эйкозапентаеновой кислот в нейтральных липидах и в два и три раза соответственно выше содержание докозагексаеновой и эйкозапентаеновой кислот в фосфолипидах, чем у молоди, выращенной в контроле.  
*Ключевые слова:* искусственные корма, жирные кислоты, омега-3, докозагексаеновая кислота, эйкозапентаеновая кислота, личинки, муксун.

**ВВЕДЕНИЕ**

Известно, что жирнокислотный состав кормов является вторым после аминокислотного фактором, определяющим рост рыб (Halver, 1976; Головачев, 1987). Личинки рыб, особенно северных широт, нуждаются в высококонцентрационных жирных кислотах типа омега-3, обеспечивающих адаптацию рыб к холодным условиям. Содержание таких кислот в компонентах, которые применяются при изготовлении стартовых и личиночных искусственных кормов, невелико. Например, в соевых фосфолипидах кислоты линоленового ряда (n-3) представлены в количестве 6–8%, в рыбьем жире их больше (15–45%), но все они входят в состав резервных жиров (триацилглицеринов), доля которых превышает 90% (Остроумова и др., 2018).

Также дефицит незаменимых высококонцентрационных жирных кислот семейства омега-3 (за исключением линоленовой кислоты) обнаруживается и в артемии — наиболее распространенном естественном корме, используемом в аквакультуре. Особенно бедна артемия такой важной для молоди рыб жирной кислотой, как докозагексаеновая (ДГК),

в небольшом количестве у нее присутствует и эйкозапентаеновая (ЭПК) кислота (Lavens, Sorgeloos, 1996; Остроумова, 2012).

Учитывая недостаток ДГК и ЭПК в кормовых компонентах и кормах для рыб (в том числе некоторых живых), можно заключить, что при создании искусственных рационов необходимо балансирование их липидного состава с учетом дефицитных жирных кислот ряда омега-3.

Цель настоящей работы — испытание экспериментального искусственного корма с добавлением жирных кислот линоленового ряда при выращивании ранней молоди муксуна *Coregonus muksun* с последующим анализом роста и выживаемости личинок и распределения этих кислот в нейтральных липидах и фосфолипидах подрощенной молоди.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА**

Опыт с использованием в кормах для личинок жирных кислот был проведен с 25 мая по 23 июня 2017 г. (29 сут.). На момент начала эксперимента личинки муксуна в возрасте 17 сут. имели массу 15,6 мг и до этого с перво-

го дня кормления получали экспериментальный корм ФЛ, содержащий в качестве липидной составляющей соевые фосфолипиды под торговым названием «Соевый лецитин» («Солек Ф-10»), предоставленные ООО «Протеин плюс», Россия. Основными компонентами экспериментальных кормов ФЛ и ФЛЭД являлись: белок микробного происхождения (ООО «Гипробиосинтез»); рыбная, мясная, пшеничная мука, витаминный премикс, физиологически активные добавки. Оба корма разработаны в лаборатории аквакультуры и воспроизводства ценных видов рыб ГосНИОРХ (Остроумова и др., 2018). С 25 мая опытные личинки были переведены на корм ФЛЭД, который отличается от корма ФЛ наличием ДГК и ЭПК («Madre Labs», США) в соотношении 2:1 (1,4 и 0,7 г на 100 г корма соответственно).

Используемые нами соевые фосфолипиды в кормах ФЛ и ФЛЭД, по данным производителя, на 62% состояли из собственно фосфо- и гликолипидов и на 37% — из соевого масла. Среди фосфолипидов доля фосфатидилхолина (лецитина) составляет 14,5%, фосфатидилэтанолamina — 12,6%, фосфатидилинозитола — 8,8%. Жирнокислотный состав соевых фосфолипидов представлен линолевой (54%), линоленовой (6,7%), олеиновой (17,9%), пальмитиновой (15,6%) и стеариновой (4,7%) кислотами, на другие кислоты приходится 1,1%.

Для оценки эффективности экспериментальных кормов использовали коммерческий корм Larviva wean-ex («Biomar Group», Дания) и науплии артемии *Artemia* sp.

Молодь муксуна выращивали в четырех круглых пластиковых экспериментальных бассейнах емкостью 40 л с круговым током воды и начальной плотностью посадки 600 экз. на бассейн. Средняя температура воды за период выращивания составляла 12,9°C и изменялась в диапазоне от 10,9 до 15,9°C. Пробы для последующего морфометрического анализа фиксировали в 2%-ном растворе формальдегида, (число рыб в каждой пробе составляло не менее 25 экз.), а для анализа жирнокислотного состава совокупную пробу замораживали. Интенсивность роста молоди рассчитывали по

уравнению Винберга (1956). Статистическую обработку собранного материала осуществляли в соответствии с принятыми методами (Лакин, 1980) с помощью программы Microsoft Office Excel, достоверность различий оценивали по *t*-критерию Стьюдента.

Опыты проводили на базе рыбного хозяйства ООО «Форват» (Ленинградская обл.), аналитическую работу выполнили в ФГБНУ «ГосНИОРХ», определение жирнокислотного состава личинок — в ООО «МИП-АМТ» («Малое инновационное предприятие. Аналитика, материалы, технология») по заказу ГосНИОРХ методом газожидкостной хроматографии. Содержание общего жира определяли по методу Фолча.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование кормов с различными липидными композициями в первую очередь отразилось на росте и выживаемости личинок муксуна. Среди искусственных кормов лучшие результаты по конечной массе были получены на диетах ФЛ — 242,9 мг и ФЛЭД — 245,2 мг, однако они существенно уступали результатам из варианта опыта с живым кормом, на котором конечная масса молоди составила 383,3 мг. Выживаемость муксуна при использовании экспериментальных кормов была приблизительно равная — 86–89% (табл. 1).

Масса муксуна, выращенного на корме Biomar, в конце опыта была значительно ниже, чем у муксуна, использующего экспериментальные диеты и живой корм, и в среднем составляла 156,2 мг, коэффициент вариации при этом был 34,6%, выживаемость — 68% (табл. 1). Плохие рыболовные показатели муксуна, полученные на корме Biomar, вероятно, могут объясняться несоответствием западного корма потребностям личинок в пищевых компонентах при низких температурных условиях эксперимента.

Исследование содержания общего жира в кормах (табл. 2) не выявило положительной статистической взаимосвязи с общей жирностью личинок муксуна (коэффициент корреляции равен  $-0,3$ ), тогда как жирнокислотный

**Таблица 1.** Рыбоводные показатели личинок муксуна при использовании различных кормов

Показатель	Корм			
	ФЛ	ФЛЭД	Биомаг	Артемия
Масса личинки, мг	$17,1 \pm 0,2^a$ $242,9 \pm 7,6^a$	$15,6 \pm 0,2^a$ $245,2 \pm 9,6^a$	$14,3 \pm 0,2^b$ $156,2 \pm 7,6^b$	$22,2 \pm 0,2^c$ $383,3 \pm 14,3^c$
CV массы от 23 июня, %	22,2	27,6	34,6	27,6
СП, %	7,8	7,8	6,8	8,8
Выживаемость, %	87	86	68	89

**Примечание.** Данные: до черты — 25 мая, после черты — 23 июня; CV — коэффициент вариации; СП — среднесуточный прирост; варианты с одинаковыми буквенными индексами достоверно не различаются; здесь и в табл. 2–4: ФЛ — корм с добавлением фосфолипидов, ФЛЭД — корм с добавлением фосфолипидов, докозагексаеновой и эйкозапентаеновой кислот.

**Таблица 2.** Содержание общего жира в использованных кормах и личинках муксуна, выращенных на этих кормах, %

Содержание жира	ФЛ	ФЛЭД	Биомаг	Артемия
В кормах	10,5	13,0	8,7	11,7
В личинках	3,0	3,1	3,5	3,2

состав молоди отражает зависимость липидной композиции используемых кормов (табл. 3).

Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) в большей степени были представлены в личинках, выращенных на корме ФЛЭД (52,39%), в который дополнительно вводили ДГК и ЭПК. Меньшее количество ПНЖК было в опыте с ФЛ и артемией — 41,89 и 40,27% соответственно, а также на корме Биомаг — 35,68%.

Наибольшее количество n-3 было определено у личинок, получавших артемию (31,8%) и корм ФЛЭД (28,0%), однако в первом случае основными кислотами этого семейства выступали линоленовая (18:3n3) и стеаридоновая (18:4n3), которые составляли 87,4% от общего содержания кислот n-3, тогда как в опыте ФЛЭД основными были ДГК и ЭПК — 89,6%. В остальных вариантах эксперимента, несмотря на различное количество n-3 в личинках (от 13,37 до 19,77%), основными кислотами также выступили ДГК и ЭПК: ФЛ — 74,8%, а Биомаг — 84,6% от общего количества n-3.

Исследование наличия ДГК и ЭПК у молоди, выращенной на корме ФЛЭД, по

сравнению с контрольным кормом ФЛ показало, что их дополнительное введение в корм повышает содержание ДГК в два раза и ЭПК в пять раз. Кислоты семейства n-3 также в два раза превышают содержание в корме ФЛЭД по сравнению с ФЛ, содержание остальных кислот в обоих кормах находится на близком уровне (табл. 3).

Относительно большое количество ДГК и ЭПК отмечено также в личинках, потребляющих Биомаг, что может указывать на высокий уровень данных кислот в этом корме.

В семействе кислот n-6 во всех вариантах опыта преобладает линолевая кислота (18:2n6), наибольшее количество которой находится в молоди, получавшей экспериментальные корма, которые имеют в своем составе фосфолипиды (ФЛ и ФЛЭД). Содержание линолевой кислоты в личинках в эксперименте варьирует в диапазоне 84,3–91,6% от общего объема n-6. Арахидоновая кислота (20:4n6) была отмечена у личинок, получавших только искусственные корма (от 0,72 до 1,06% от суммы жирных кислот) и не встречалась в опыте с артемией (табл. 3).

Среди мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) у всей молоди в экспери-

**Таблица 3.** Жирнокислотный состав личинок муксуна, выращенных на разных кормах, % от суммы

Жирная кислота		Корм			
		ФЛ	ФЛЭД	Биомар	Артемия
НЖК	14:0	0,79	0,73	4,93	0,89
	16:0	19,07	18,26	19,69	12,80
	17:0	—	—	0,36	—
	18:0	5,50	5,15	4,27	4,27
	Сумма	25,36	24,14	29,25	17,96
МНЖК	16:1 n7	4,30	4,77	4,93	3,16
	18:1 n9	14,66	12,40	17,06	23,30
	20:1 n9	0,63	—	1,29	0,75
	Сумма	19,59	17,17	23,28	27,21
ПНЖК	18:3 n3	2,46	2,52	1,74	18,33
	18:4 n3	0,91	0,40	1,31	9,47
	20:4 n3	—	—	—	1,11
	20:5 n3	1,40	7,36	4,63	1,08
	22:6 n3	8,60	17,68	12,09	1,82
	Всего n3	13,37	27,96	19,77	31,81
	18:2 n6	26,13	21,73	13,41	7,65
	20:2 n6	1,33	1,03	0,59	0,40
	20:4 n6	1,06	0,72	0,92	—
	22:5 n6	—	0,95	0,99	—
	24:2 n6	—	—	—	0,41
	Всего n6	28,52	24,43	15,91	8,46
	Сумма	41,89	52,39	35,68	40,27
	НЖК/ПНЖК		0,61	0,46	0,82
n3/n6		0,47	1,14	1,24	3,76
20:5 n3/22:6 n3		0,2	0,4	0,4	0,6

**Примечание.** НЖК, МНЖК, ПНЖК — соответственно насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты; «—» — содержание менее 0,05%.

менте превалировала олеиновая (18:1) кислота, выполняющая важную роль при температурных адаптациях (Забелинский и др., 1995). Больше всего этой кислоты содержалось в личинках из опыта с артемией. Среди насыщенных жирных кислот значимую долю занимала пальмитиновая кислота (16:0).

Как было отмечено ранее, введение в корм ДГК и ЭПК повышает их уровень в личинках муксуна, что говорит о включении этих кислот в липидный обмен молоди. Однако большое значение имеет распределение усвоенных кислот в нейтральные (резервные липиды) и фосфолипиды (табл. 4).

Как видно из данных табл. 4, дополнительное введение в корм ДГК и ЭПК значительно повышает уровень содержания этих кислот как в нейтральных липидах, так и в фосфолипидах молоди муксуна. У личинок, получавших корм ФЛЭД, в 3,5 раза больше ДГК и в 7,0 раза ЭПК в нейтральных липидах, а также в два и три раза больше ДГК и ЭПК в фосфолипидах, чем у молоди, выращенной на контрольном корме ФЛ.

Проведенные исследования показали, что дополнительное введение в корм ДГК и ЭПК значительно повышает их уровень как в нейтральных липидах, так и в фосфолипидах личинок, что особенно важно при культивации

**Таблица 4.** Распределение докозагексаеновой (ДГК) и эйкозапентаеновой (ЭПК) кислот в нейтральных липидах (нл) и фосфолипидах (фл) личинок муксуна, выращенных на разных кормах, % от суммы

Жирная кислота	Корм					
	ФЛ			ФЛЭД		
	нл	фл	нл/фл	нл	фл	нл/фл
22:6 n3 (ДГК)	3,46	13,91	0,25	12,31	24,32	0,51
20:5 n3 (ЭПК)	0,99	1,74	0,57	6,81	5,38	1,27
ДГК/ЭПК	3,5	8,0	—	1,8	4,5	—

холодноводных объектов аквакультуры. Однако добавление этих жирных кислот в рацион подрощенной молоди не отразилось на ее последующем росте и выживаемости. В дальнейшем считаем актуальным проведение исследований по использованию кормов, содержащих ЭПК и ДГК, с первых дней питания личинок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Винберг Г.Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: БГУ, 1956. 251 с.

Головачев С.А. Повышение эффективности выращивания личинок сиговых рыб путем улучшения жирнокислотного состава стартовых кормов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л.: ГосНИОРХ, 1987. 21 с.

Забелинский С.А., Чеботарева М.А., Бровцына Н.Б., Кривченко А.И. Об «адапционной специализации» состава и конформационных состояний жирных кислот в мембранных липидах жабр рыб // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 1995. Т. 31. № 1. С. 28–37.

Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.

Остроумова И.Н. Биологические основы кормления рыб. СПб.: ГосНИОРХ, 2012. 564 с.

Остроумова И.Н. Особенности биохимического состава и размеров науплиусов артемии как стартового корма для личинок рыб // Рыбоводство и рыб. хоз-во. 2014. № 6. С. 55–61.

Остроумова И.Н., Костюничев В.В., Лютиков А.А. и др. Включение в стартовые корма для сиговых рыб (Coregonidae) бактериальной биомассы и белковых гидролизатов // Вопр. рыболовства. 2018. Т. 19. № 1. С. 82–98.

Halver J.E. Formulating practical diets for fish // J. Fish. Res. Bd. Can. 1976. № 33. P. 1032–1039.

Lavens P., Sorgeloos P. Manual on the production and use of live food for aquaculture // FAO Fish. Tech. Paper. № 361. Rome: FAO, 1996. 295 p.

#### THE INJECTION OF OMEGA 3 FATTY ACID INTO MUKSUN LARVAE FEED

© 2019 y. A. A. Lyutikov

*Sankt-Petersburg Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, St. Petersburg, 199053*

Here you can find the results of our research about muktun larvae growing on artificial feed which included Docosahexaenoic acid (DHA) and Eicosapentaenoic acid (EPA). It is shown, that additional injection of DHA and EPA into feed significantly rises levels of DHA and EPA in fatty acid compositions of neutral lipids and phospholipids of larvae. Young muktuns, which got rich in fatty acids feed, finally had 3,5 higher DHA level and 7 times higher EPA level in neutral lipids, and also 2 times higher DHA level and 3 times higher EPA level in phospholipids of larvae in comparison with larvae which consumed control feed.

*Keywords:* artificial feed, fatty acids, DHA, EPA, Omega 3 fatty acid, larvae, muktun.