

УДК 639.3.043.14: 577.115.

## **ВЛИЯНИЕ КОМБИКОРМОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ *PARASALMO MYKISS* (WALBAUM, 1792)**

**О. Б. Васильева<sup>1</sup>, М. А. Назарова<sup>2</sup>, П. О. Рипатти<sup>1</sup>, Н. Н. Немова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН

<sup>2</sup> Вологодский государственный университет

Данная работа была проведена для оценки влияния комбикормов различного состава на темпы роста радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792). В течение восьми месяцев в форелевом хозяйстве, расположенном на Ладожском озере (Республика Карелия, Россия), проводился эксперимент: три группы рыб, не различающихся морфо-генетическими особенностями, возраста 1+ (первоначальная масса рыб 110 г), культивировали на различных комбикормах. Для эксперимента были выбраны три комбикорма, наиболее часто используемые форелеводами Северо-Запада России и различающиеся уровнем белка, структурных липидов и жирных кислот. С марта по ноябрь форель групп № 1 и № 2 выращивали, используя комбикорма № 1 и № 2 соответственно. В конце июня форель группы № 2 случайным образом разделили на две группы, одну из которых – группу № 2 – продолжили кормить комбикормом № 2, а вторую группу – № 3 – перевели на корм другого производителя (комбикорм № 3). В комбикормах было проанализировано содержание общего белка, липидов и жирных кислот. Кроме того, на третьей неделе каждого месяца эксперимента проводили промеры радужной форели (по 50 особей в каждой группе) и ежемесячно оценивали смертность рыб. Установлено, что динамика прироста длины и массы радужной форели зависела от режима кормления рыб. Показаны различия в приросте массы и темпах роста у трех групп рыб. Выявлено, что применение комбикормов с более высоким уровнем структурных компонентов (белок, фосфолипиды и холестерин), а также  $\omega 3$  полиненасыщенных жирных кислот (комбикорма № 1 и № 3) способствовало наибольшей активности ростовых процессов у радужной форели (группы № 1 и № 3 соответственно).

**Ключевые слова:** аквакультура; темп роста; белок; липиды; полиненасыщенные жирные кислоты.

**O. B. Vasil`eva, M. A. Nazarova, P. O. Ripatti, N. N. Nemova. EFFECT OF DIFFERENT DIETS ON GROWTH PERFORMANCE IN RAINBOW TROUT, *PARASALMO MYKISS* (WALBAUM, 1792)**

The present study aimed to evaluate the effect of different formula feeds on the growth performance in rainbow trout, *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792). The eight months feeding experiment in a fish farm in Lake Ladoga (Republic of Karelia, Russia) was conducted to investigate the effects of different diets on the growth rate in three genetically similar and homogeneous groups of juvenile rainbow trout aged 1+ (initial body weight 110 g). Three commercial formula feeds often used in fish farms in Northwest Russia and with different levels of protein, structural lipids and fatty acids were used. From March to

November groups 1 and 2 were fed commercial diets 1 and 2, respectively. Late in June group 2 was randomly divided into two subgroups (groups 2 and 3). Group 2 remained on diet 2, whereas group 3 was fed diet 3 (formula feed by a different manufacturer). The contents of dietary protein, lipids and fatty acids were analyzed in the feeds. In addition, the body weight, body length and mortality of the fish (50 specimens from each group) were measured on the third week of each month of the experiment. The dynamic of linear growth and weight gain in the rainbow trout was found to depend on the fish feeding schedule. Weight gain and growth rate in the three groups of fish were different. Overall, the study established that a diet with a high level of dietary protein, structural lipids (phospholipids, cholesterol) and  $\omega$ 3 polyunsaturated fatty acids (diets 1 and 3) leads to a higher growth rate in rainbow trout (groups 1 and 3, respectively).

**Key words:** aquaculture; growth performance; protein; lipids; polyunsaturated fatty acids.

## Введение

Решение вопросов рационального использования ресурсов внутренних водоемов относится к числу важнейших актуальных направлений современной биологии, включающих исследования в области ихтиологии, гидробиологии, физиологии, биохимии. Снижение вылова ценных видов рыб из естественных водоемов компенсируется их интенсивным выращиванием в искусственных условиях, в большей степени в морских акваториях [Emre et al., 2007; FAO, 2009]. В то же время наличие большого количества глубоководных озер с чистой водой на северо-западе России позволяет развивать садковое рыбоводство радужной форели в открытых пресных водоемах.

Для реализации основной задачи форелевых хозяйств, связанной с получением товарной продукции за максимально короткий период времени, в качестве источника пищи используют искусственные корма. Численность садковых хозяйств в последнее десятилетие резко возросла, в связи с чем увеличилась потребность в кормах, что привело к резкому дефициту сырья для их производства [FAO, 2008; Hua, Bureau, 2009]. Комбикорма для аквакультуры лососевых рыб производят преимущественно из отходов промыслового рыболовства. Экономически обоснованным альтернативным источником сырья служат продукты растительного происхождения (масла, протеин гороха, глютелин кукурузы и другие), которые, однако, не соответствуют кормовой базе хищных рыб из природных водоемов.

Состав пищи в первую очередь влияет на метаболизм рыб, который определяет интенсивность их роста и развития, а также качество реализуемой форелеводами продукции [Ruyter et al., 2010; Yun et al., 2011]. В настоящее время активно изучается влияние различных составов

комбикормов на морфометрические и физиолого-биохимические характеристики культивируемых рыб, особенно лососевых, однако эти вопросы остаются все еще слабоизученными [Tocher, 2003; Brown et al., 2010]. Целью настоящей работы было определение влияния комбикормов разного состава на темп роста радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792).

## Материалы и методы

Исследование проводилось на базе неполносистемного форелевого хозяйства, расположенного в северной части Ладожского озера (61°42'15" с.ш., 31°0'27" в.д.) (Республика Карелия, Россия). Изучены три группы неполовозрелых самок радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) в возрасте 1+, не различающихся морфо-генетическими особенностями и культивированных в одинаковых условиях на разных комбикормах. В эксперименте применялись три вида коммерческих комбикормов (с одинаковыми кормовыми коэффициентами), наиболее часто используемые форелеводами Северо-Запада России. Рыб из одного садка, питающихся комбикормом № 1, в марте разделили на две группы (№ 1 и № 2) и культивировали их на комбикормах № 1 и № 2 соответственно. В конце июня форель группы № 2 случайным образом разделили на две группы (№ 2 и № 3), одну из которых – группу № 2 – продолжили кормить комбикормом № 2, а вторую группу – № 3 – перевели на корм другого производителя (комбикорм № 3). Рыб выращивали в близкорасположенных садках с целью нивелирования неконтролируемых факторов. В третьей декаде каждого месяца проводили промеры групп рыб (по 50 особей в каждой группе) и фиксировали пробы кормов на биохимический анализ. В связи с длительным периодом исследования дважды провели смену фракции кормов, при этом

марка комбикорма осталась прежней. С марта по июнь форель кормили кормами фракции А, размер гранул составлял 3 мм в диаметре; 1 июля произошла замена корма на фракцию В (4,5 мм); после 1 сентября рыб кормили комбикормами фракции С (6 мм).

Оценку длины, массы, прироста массы и длины радужной форели, наполненности кишечника, смертности рыб проводили по методике И. Ф. Правдина [1966] с учетом рекомендаций М. В. Мины с соавт. [Мина, Клевезаль, 1976], Л. П. Рыжкова и др. [2000]. В комбикормах определяли общий белок, липиды (структурные и запасные) и жирные кислоты общих липидов. Концентрацию белка оценивали по содержанию азота в пробе, полученного путем сжигания навески корма в колбе Кьельдаля [Филиппович и др., 1975]. Для анализа липидного состава кормов пробы фиксировали смесью Фолча (хлороформ : метанол в соотношении 2 : 1 по объему). Разделение общих липидов проводили методом тонкослойной хроматографии восходящим способом в системе растворителей: петролейный эфир : диэтиловый эфир : уксусная кислота (в соотношении 90 : 10 : 1 по объему) при комнатной температуре [Шталь, 1965]. Концентрацию исследуемых липидных параметров определяли спектрофотометрическими методами [Сидоров и др., 1972; Engelbrecht et al., 1974]. Фракционирование фосфолипидов осуществляли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. Подвижная фаза (элюент) состояла из смеси растворителей: ацетонитрил : гексан : метанол : фосфорная кислота (918 : 30 : 30 : 17,5 по объему). Обработка хроматограмм проводилась с помощью компьютерной программы «Мультихром-Аналитик, v. 1.5». Для анализа жирнокислотного состава комбикормов выделенные липиды подвергали прямому метилированию [Цыганов, 1971]. Полученные метиловые эфиры жирных кислот разделяли на хроматографе «Кристалл 5000» («Хроматек», Йошкар-Ола). Идентификацию жирных кислот проводили сопоставлением времени выхода пиков экспериментального образца и метчиков, а также путем расчета эквивалента длины цепи и сравнением его с табличными данными [Jamieson, 1975], количественный анализ осуществляли при помощи компьютерной программы «Программа подсчета хроматограмм». Полученные данные обрабатывали общепринятыми статистическими методами [Елисеева, 2007]. Исследования выполнены на научном оборудовании ЦКП НО Института биологии КарНЦ РАН.

## Результаты и обсуждение

Интенсивность ростовых процессов радужной форели во многом определяется составом кормов, которые используются при ее выращивании. Для активного роста и развития культивируемых рыб необходим высокий уровень белка в корме, который должен использоваться именно для пластического обмена, а не для энергозатрат организма. Включение в корм соответствующих небелковых источников энергии, таких как липиды, позволяет оптимизировать химический состав кормов, поскольку липиды помимо энергетической выполняют в организме рыб ряд других жизненно важных функций: структурообразующую, регуляторную и прочие, к тому же они служат предшественниками многих биологически активных веществ, в том числе и гормонов [Крепс, 1979; Tocher, 2003].

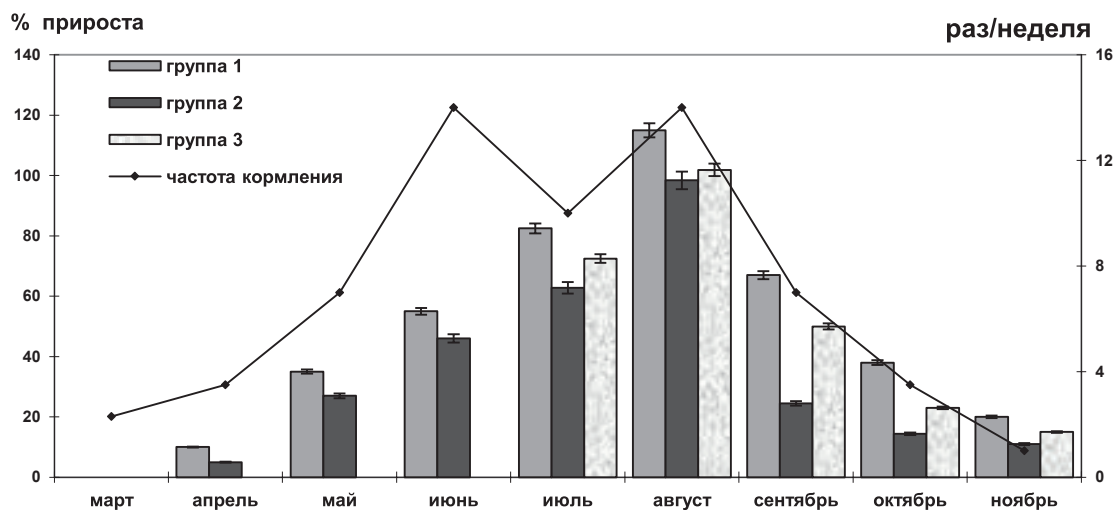
Проведен анализ содержания общего белка и полного липидного состава кормов №№ 1, 2, 3 различных фракций (А, В и С) для аквакультуры радужной форели; полученные результаты представлены в таблице 1. Фракции корма № 1 отличались от соответствующих фракций других исследованных кормов высоким уровнем белка, холестерина, фосфатидилхолина, насыщенных жирных кислот,  $\omega$ 9 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) (см. табл. 1). Для комбикорма № 2, по сравнению с другими исследованными комбикормами, характерна более высокая концентрация триацилглицеринов (ТАГ), лизофосфатидилхолина, сфингомиелина,  $\omega$ 6 ПНЖК и низкая – холестерина (ХС) и  $\omega$ 3 ПНЖК (см. табл. 1). Отличительной особенностью комбикорма № 3 являлось высокое содержание фосфатидилэтаноламина (см. табл. 1).

В данном исследовании установлены различия не только между кормами разных производителей, но и между фракциями одного комбикорма, однако последние были менее выражены (см. табл. 1). Во всех исследованных комбикормах уровень ТАГ увеличился в ряду фракций кормов А-В-С, а концентрация холестерина (ХС), напротив, снижалась (см. табл. 1). При производстве различных фракций кормов учитываются возрастные особенности метаболизма лососевых. У молоди форели активно протекает пластический обмен, поэтому при изготовлении кормов для данной группы рыб используют источники сырья животного происхождения с высоким уровнем структурных компонентов (белок, холестерин, фосфолипиды (ФЛ)). В то время как для возрастных особей характерно накопление липидов в тканях и для

Таблица 1. Содержание белка (% сухой массы), липидных компонентов (% сухой массы) и некоторых жирных кислот общих липидов (% от суммы жирных кислот) в комбикормах

Комбикорм, №	1			2			3	
	A	B	C	A	B	C	B	C
Фракция								
Общий белок	50,4	51,3	49,7	46,4 <sup>a</sup>	42,7 <sup>a, d</sup>	40,8 <sup>a, e</sup>	43,1	41,3
Общие липиды	19,7	20,2	20,4	22,3 <sup>a</sup>	25,2 <sup>a, d</sup>	28,2 <sup>a, e</sup>	24,3 <sup>b</sup>	26,3 <sup>b, c, e</sup>
Фосфолипиды	4,2	4,1	4,1	4,5	2,3 <sup>a, d</sup>	2,7 <sup>a</sup>	4,7 <sup>b, c</sup>	4,8 <sup>b, c</sup>
Триацилглицерины	12,1	13,2 <sup>d</sup>	13,4	14,7 <sup>a</sup>	19,8 <sup>a, d</sup>	22,1 <sup>a, e</sup>	15,9 <sup>b, c</sup>	17,4 <sup>b, c, e</sup>
Эфиры холестерина	0,4	0,5	0,5	1,3 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	1,8 <sup>b, c</sup>	2,1 <sup>b, c</sup>
Холестерин	2,9	2,5 <sup>d</sup>	2,4	1,8 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a, d</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,9 <sup>b, c</sup>	2,0 <sup>b, c</sup>
Фосфатидилэтаноламин	1,5	1,5	1,5	1,1 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a, d</sup>	0,4 <sup>a, e</sup>	2,1 <sup>b, c</sup>	2,3 <sup>b, c</sup>
Фосфатидилхолин	2,3	2,1	2,1	2,8 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a, d</sup>	1,8 <sup>a, e</sup>	2,1 <sup>c</sup>	2,0
Лизофосфатидилхолин	0,05	0,04	0,05	0,16 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,04 <sup>c</sup>	0,04 <sup>c</sup>
Сфингомиелин	0,02	0,02	0,02	0,15 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a, d</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,05 <sup>b, c</sup>	0,06 <sup>b, c</sup>
16:0	20,7	20,8	20,9	17,2 <sup>a</sup>	16,0 <sup>a, d</sup>	13,7 <sup>a, e</sup>	14,3 <sup>b, c</sup>	17,5 <sup>b, c, e</sup>
Сумма насыщенных кислот	35,9	34,9	35,1	26,1 <sup>a</sup>	25,1 <sup>a</sup>	22,2 <sup>a, e</sup>	22,4 <sup>b, c</sup>	25,4 <sup>b, c, e</sup>
18:1 $\omega$ 9	14,9	16,1 <sup>d</sup>	15,5	25,3 <sup>a</sup>	26,6 <sup>a, d</sup>	24,5 <sup>a, e</sup>	24,4 <sup>b, c</sup>	16,6 <sup>c, e</sup>
22:1 $\omega$ 9	0,9	0,7	0,8	4,2 <sup>a</sup>	6,1 <sup>a, d</sup>	6,6 <sup>a</sup>	5,1 <sup>b, c</sup>	5,2 <sup>b, c</sup>
Сумма мононенасыщенных кислот	31,0	31,3	31,6	42,2 <sup>a</sup>	42,5 <sup>a</sup>	42,2 <sup>a</sup>	45,3 <sup>b, a</sup>	39,1 <sup>b, c, e</sup>
Сумма $\omega$ 9 ПНЖК	0,7	0,7	0,7	0,1 <sup>a</sup>	0,2 <sup>a, d</sup>	0,2 <sup>a</sup>	0,3 <sup>b, c</sup>	0,3 <sup>b, c</sup>
18:2 $\omega$ 6	5,2	5,5	5,3	13,0 <sup>a</sup>	16,4 <sup>a, d</sup>	19,9 <sup>a, e</sup>	8,3 <sup>b, c</sup>	8,7 <sup>b, c</sup>
20:4 $\omega$ 6	1,3	1,2	1,2	0,6 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a, d</sup>	0,3 <sup>a</sup>	0,4 <sup>b</sup>	0,6 <sup>b, c, e</sup>
Сумма $\omega$ 6 ПНЖК	9,1	9,1	9,1	15,2 <sup>a</sup>	17,6 <sup>a, d</sup>	21,1 <sup>a, e</sup>	10,0 <sup>c</sup>	11,6 <sup>b, c, e</sup>
18:3 $\omega$ 3	1,9	2,1	2,0	3,8 <sup>a</sup>	3,6 <sup>a</sup>	3,3 <sup>a, e</sup>	2,9 <sup>b, c</sup>	1,6 <sup>c, e</sup>
20:5 $\omega$ 3	4,0	3,8 <sup>d</sup>	3,9	4,2	4,2	4,0	6,3 <sup>b, c</sup>	8,6 <sup>b, c, e</sup>
22:6 $\omega$ 3	8,6	8,8	8,4	4,9 <sup>a</sup>	4,2 <sup>a, d</sup>	4,2 <sup>a</sup>	7,8 <sup>c</sup>	7,6 <sup>b, c</sup>
Сумма $\omega$ 3 ПНЖК	19,7	19,1	18,5 <sup>e</sup>	15,2 <sup>a</sup>	13,7 <sup>a, d</sup>	13,5 <sup>a</sup>	19,6 <sup>c</sup>	21,3 <sup>b, c, e</sup>
Сумма полиненасыщенных кислот	33,6	33,8	33,2	31,8	32,3	35,6 <sup>a, d</sup>	32,3	35,6 <sup>b, e</sup>

Примечание. <sup>a</sup> Различия достоверны при  $p \leq 0,05$  при сравнении кормов 1 и 2 соответствующих фракций; <sup>b</sup> различия достоверны при  $p \leq 0,05$  при сравнении кормов 1 и 3 соответствующих фракций; <sup>c</sup> различия достоверны при  $p \leq 0,05$  при сравнении кормов 2 и 3 соответствующих фракций; <sup>d</sup> различия достоверны при  $p \leq 0,05$  при сравнении фракций А и В одного корма; <sup>e</sup> различия достоверны при  $p \leq 0,05$  при сравнении фракций В и С одного корма.



Прирост массы рыб и режим их кормления в течение эксперимента

них выпускают более калорийные комбикорма, включающие в свой состав растительные масла [Остроумова, 2001; Щербина, Гамыгин, 2006].

Низкий уровень структурных липидов (ФЛ и ХС) в корме № 2 (фракции В и С) по сравнению

с аналогичными фракциями других изученных комбикормов (см. табл. 1) может быть связан с их длительным периодом хранения (более четырех месяцев). Ранее в наших исследованиях было показано [Назарова и др., 2010, 2013;

Таблица 2. Параметры роста радужной форели и смертность рыб

Дата	Группа рыб (n=50), №	Длина рыб, см	Масса рыб, г	Прирост массы рыб	Прирост длины рыб	Отход рыб, шт.
26 марта	1	20,8	110			
	2	21,0	110			
27 апреля	1	21,8	112	1,8	4,8	23
	2	21,1	110 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	31
25 мая	1	23,5	144	28,6	7,8	88
	2	21,6 <sup>a</sup>	140 <sup>a</sup>	27,3	2,4 <sup>a</sup>	94
27 июня	1	25,2	217	50,7	7,2	25
	2	22,5 <sup>a</sup>	205 <sup>a</sup>	46,4 <sup>a</sup>	4,2 <sup>a</sup>	34
27 июля	1	27,1	354	63,1	15,5	86
	2	25,3 <sup>a</sup>	333 <sup>a</sup>	62,4	12,4 <sup>a</sup>	103
	3	27,2 <sup>c</sup>	367 <sup>c</sup>	79,0 <sup>b,c</sup>	16,4 <sup>c</sup>	88
24 августа	1	31,1	683	81,2	14,1	22
	2	27,6 <sup>a</sup>	462 <sup>a</sup>	38,7 <sup>a</sup>	9,1 <sup>a</sup>	41
	3	29,6 <sup>b,c</sup>	622 <sup>b,c</sup>	69,5 <sup>b,c</sup>	13,0 <sup>b,c</sup>	34
25 сентября	1	34,7	947	60,9	15,3	16
	2	31,8 <sup>a</sup>	649 <sup>a</sup>	40,5 <sup>a</sup>	15,2	65
	3	32,8 <sup>b,c</sup>	824 <sup>b,c</sup>	32,5 <sup>b,c</sup>	10,8 <sup>b,c</sup>	22
28 октября	1	36,1	1126	18,9	4,0	13
	2	32,0 <sup>a</sup>	742 <sup>a</sup>	14,3 <sup>a</sup>	0,6 <sup>a</sup>	54
	3	34,2 <sup>b,c</sup>	971 <sup>b,c</sup>	17,8 <sup>c</sup>	4,3 <sup>c</sup>	24
27 ноября	1	37,9	1436	27,5	4,9	22
	2	32,1 <sup>a</sup>	1098 <sup>a</sup>	48,0 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a</sup>	32
	3	34,5 <sup>b,c</sup>	1251 <sup>bc</sup>	28,8 <sup>c</sup>	0,9 <sup>b,c</sup>	29

Примечание. <sup>a</sup> Различия достоверны при  $p \leq 0,05$  при сравнении рыб групп № 1 и № 2; <sup>b</sup> различия достоверны при  $p \leq 0,05$  при сравнении групп рыб № 1 и № 3; <sup>c</sup> различия достоверны при  $p \leq 0,05$  при сравнении групп рыб № 2 и № 3.

Немова и др., 2011], что, несмотря на срок годности продукта, указанный производителями комбикормов, составляющий шесть и более месяцев, уровень общих липидов и их отдельных фракций в кормах уже после четырех месяцев хранения заметно снижался. Содержание триацилглицеринов при хранении значительно не изменялось, сохраняя общую калорийность кормов. Наибольшей деструкции подвергались фосфолипиды комбикормов, что приводит к дефициту данного класса соединений в тканях форели и, как следствие, к снижению темпов роста рыб и ухудшению качества рыбной продукции для потребителя.

Ростовые процессы у гидробионтов зависят от целого комплекса внешних и внутренних факторов, среди которых одним из наиболее значимых является трофический, поскольку состав пищи и степень ее доступности во многом определяет линейно-весовую разнокачественность рыб [Дгебуадзе, 2001]. Трофические цепи гидробионтов формировались в течение длительного периода времени в процессе коэволюции, поэтому кормовая база рыб из природных водоемов имеет оптимальный химический состав для консументов [Pratoomyot et al., 2011]. В условиях аквакультуры форель выращивают на искусственных комбикормах, исходное сырье для производства которых

должно максимально соответствовать естественной пище рыб. Введение в состав корма нехарактерных для натурального питания радужной форели компонентов может оказать значительное воздействие на метаболизм рыб и, как следствие, привести к изменению их физиологического состояния и ростовых процессов [Aslan et al., 1996; Blanchet et al., 2005; Zaman et al., 2008].

Период исследования данной работы охватывал несколько этапов годового цикла рыб – переход от зимовального периода (март–май) к нагульному (июнь–сентябрь) и вновь к зимовке (октябрь–ноябрь). Пищевое поведение рыб определялось сменой режима кормления, включающего в себя частоту подачи корма и его количество, которое было одинаково для всех трех групп форели (рис.). Абсолютное количество корма, вносимого в садки, постепенно увеличивалось с марта по июнь, а в июле, в связи с высокой температурой воды, кормление рыб было снижено (см. рис.).

Динамика прироста массы форели между изученными группами была одинакова и определялась режимом кормления – при переходе с зимовального периода на нагульный темпы прироста массы рыб возрастали, а с сентября – снижались. Однако между группами рыб прирост массы форели различался (см. рис.)

и зависел прежде всего от состава кормов, так как остальные условия культивирования рыб были одинаковыми. Темп роста рыб напрямую зависел от количества белка в корме. Наибольшее содержание общего белка было установлено в корме № 1 (см. табл. 1). Прирост длины и массы рыб, которые культивировались на данном комбикорме, был выше по сравнению с группами рыб № 2 и № 3 (табл. 2; рис.). Однако для активного роста рыб не менее важна и липидная составляющая корма, содержание которой должно быть сбалансировано, поскольку сравнительно высокий уровень липидов приводит к ожирению рыб, а дефицит отрицательно сказывается на их росте и развитии [Carter, 2003; Gümüş, İkiş, 2009]. Оптимальным для лососевых рыб возраста 1+ считается содержание липидов в корме около 20 % сухой массы [Остроумова, 2001]. В кормах № 2 и № 3 уровень общих липидов несколько превышал данное значение (см. табл. 1). Кроме количества липидов в корме важную роль играет и их качественный состав. Наибольшее значение имеет уровень структурных липидов (ФЛ и ХС) в корме, поскольку от их содержания зависит интенсивность пластического обмена. Фосфолипиды и холестерин формируют биомембраны, выполняя не только структурообразующую функцию, но и участвуя в регуляции активности мембраносвязанных ферментов [Ночачка, Somero, 2002]; ХС также служит предшественником стероидных гормонов и других веществ, необходимых для развития организма [Tocher et al., 2008]. Высокий уровень структурных компонентов в кормах № 1 и № 3 (см. табл. 1) способствовал более активному приросту массы рыб соответствующих групп.

На темп роста радужной форели влияет не только уровень ФЛ в корме, но и входящие в состав липидов полиненасыщенные жирные кислоты. ПНЖК играют важную роль в адаптации мембранных структур клеток эктотермных организмов к изменениям условий внешней среды, являются предшественниками биологически активных соединений, таких как эйкозаноиды, и выполняют ряд других важных функций [Ночачка, Somero, 2002; Bell et al., 2006]. В организме радужной форели осуществляется элонгация и десатурация жирных кислот, поэтому ПНЖК могут синтезироваться из незаменимых кислот – линолевой 18:2 $\omega$ 6 и линоленовой 18:3 $\omega$ 3, содержание которых в исследованных комбикормах соответствовало необходимому, согласно некоторым рекомендациям, уровню [Остроумова, 2001; Blanchard, 2008]. Однако собственный синтез ПНЖК

в организме рыб не восполняет их физиологически необходимое количество [Thanuthong et al., 2011], поэтому для нормального развития радужной форели необходим высокий уровень длинноцепочечных ПНЖК семейства  $\omega$ 3 (таких как эйкозапентаеновая 20:5 $\omega$ 3 и докозагексаеновая 22:6 $\omega$ 3 кислоты) в комбикорме, которые способствуют активному росту рыб [Bell et al., 2010]. Соответственно, меньший уровень длинноцепочечных ПНЖК в корме № 2, по сравнению с другими кормами, возможно, определял более низкий темп прироста длины и массы форели соответствующей группы (см. табл. 2). Недостаток поступления ПНЖК в организм рыб может послужить причиной не только снижения ростовых процессов форели, но и нарушения функциональной активности органов и тканей рыб, вплоть до гибели организма [Carter, 2003; Grisdale-Helland et al., 2008].

Одним из индикаторов состояния популяции рыб является показатель их смертности. Большой отход рыб групп № 2 и № 3 по сравнению с группой № 1, возможно, связан с высокой долей эруковой 22:1 $\omega$ 9 кислоты в кормах № 2 и № 3 (см. табл. 1 и 2). В настоящее время вопрос о влиянии высокой концентрации эруковой кислоты в комбикорме на метаболизм радужной форели является дискуссионным. По мнению одной группы авторов [Collins et al., 2012; Randall et al., 2013], эруковая кислота не оказывает значимого воздействия на физиолого-биохимические характеристики состояния рыб. Согласно другим литературным источникам [Sahasrabudhe, 1977; Tucker, Hargreaves, 2004], длительное употребление кормов, содержащих более 3 % эруковой кислоты от суммы жирных кислот, может привести к нарушению процессов роста и развития рыб и их гибели. Также на уровень смертности форели, возможно, могло повлиять и повышенное содержание ТАГ в комбикормах № 2 и № 3 (см. табл. 1 и 2), поскольку потребление кормов с высоким уровнем триацилглицеринов (более 20 % сухой массы) приводит к угнетению иммунной системы рыб и их физиологического состояния [Kjær et al., 2009].

## Заключение

Комбикорма для лососевых различаются между собой соотношением структурных и запасных веществ, которое зависит от исходного сырья, используемого при производстве корма. В данной работе показано, что доля фосфолипидов, холестерина и полиненасыщенных жирных кислот в комбикормах одного производителя снижается с увеличением крупки корма.

Динамика прироста длины и массы радужной форели зависит от режима кормления рыб. Показаны различия в приросте массы и темпах роста у трех групп рыб за изученный период, которые обусловлены, вероятно, составом комбикормов, на которых они культивировались. Качество кормов определяет темп прироста длины и массы рыб, интенсивность которых зависит от содержания белка, структурных липидов и  $\omega 3$  полиненасыщенных жирных кислот в комбикормах.

*Финансовое обеспечение исследования осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания № 0221-2014-0003, при финансовой поддержке гранта Президента РФ НШ-1410.2014.4 № г. р. 140121103350.*

*Работа выполнена на базе лаборатории экологической биохимии Института биологии Карельского научного центра РАН.*

## Литература

- Дгебуадзе Ю. Ю. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука, 2001. 276 с.
- Елисеева И. И. Статистика. М.: Высшее образование, 2007. 566 с.
- Крепс Е. М. Клеточные липиды и их роль в адаптации водных организмов к условиям существования // Физиология и биохимия морских и пресноводных животных. Л.: Наука, 1979. С. 3–21.
- Мина М. В., Клевезаль Г. А. Рост животных. М.: Наука, 1976. 291 с.
- Назарова М. А., Васильева О. Б., Руоколайнен Т. Р., Немова Н. Н. Изменение липидных показателей корма для аквакультуры радужной форели в процессе его хранения // Садковое рыбоводство. Состояние и перспективы развития: материалы международной конференции (11–13 октября 2010 г.). Петрозаводск: ПетрГУ, 2010. С. 47–50.
- Назарова М. А., Васильева О. Б., Немова Н. Н. Оценка состава кормов для аквакультуры с целью рационального использования водных ресурсов // Молодые исследователи – регионам: материалы международной научной конференции. В 2-х т. Вологда: ВоГТУ, 2013. Т. 1. С. 444–445.
- Немова Н. Н., Васильева О. Б., Руоколайнен Т. Р., Назарова М. А. Оценка липидных показателей комбикормов для аквакультуры радужной форели в процессе хранения // Кормопроизводство. 2011. № 3. С. 44–47.
- Остроумова И. Н. Биологические основы кормления рыб. СПб.: ГосНИОРХ, 2001. 372 с.
- Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая пром-ть, 1966. 96 с.
- Рыжков Л. П., Кучко Т. Ю., Кучко Я. А. Выращивание форели в садках. Петрозаводск: ПетрГУ, 2000. 56 с.
- Сидоров В. С., Лизенко Е. И., Болгова О. М., Нефедова З. А. Липиды рыб. 1. Методы анализа. Тканевая специфичность ряпушки *Coregonus albula* L. // Лососевые (Salmonidae) Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1972. Вып. 1. С. 152–163.
- Филиппович Ю. Б., Егорова Т. А., Севастьянова Г. А. Практикум по общей биохимии. М.: Просвещение, 1975. 318 с.
- Цыганов Э. П. Метод прямого метилирования липидов после ТСХ без элюирования с силикагеля // Лабораторное дело. 1971. № 8. С. 490–493.
- Шталь Э. Хроматография в тонких слоях. М.: Мир, 1965. 508 с.
- Щербина М. А., Гамыгин Е. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: ВНИРО, 2006. 360 с.
- Aslan S. S., Guven K. C., Gezgin T. et al. Comparison of fatty acid contents of wild and cultured rainbow trout *Onchorhynchus mykiss* in Turkey // Food Chemistry. 1996. Vol. 57, No 3. P. 359–363. doi: 10.1111/j.1444-2906.2007.01452.x.
- Bell J. G., Strachan F., Good J. E., Tocher D. R. Effect of dietary echium oil on growth, fatty acid composition and metabolism, gill prostaglandin production and macrophage activity in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) // Aquacult. Res. 2006. Vol. 37. P. 606–617. doi: 10.1111/j.1365-2109.2006.01470.x.
- Bell J. G., Pratoomyot J., Strachan F. et al. Growth, flesh adiposity and fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) families with contrasting flesh adiposity: Effects of replacement of dietary fish oil with vegetable oils // Aquaculture. 2010. No 306. P. 225–232. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.05.021.
- Blanchet C., Lucas M., Julien P. et al. Fatty acid composition of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Lipids. 2005. Vol. 40, No 5. P. 529–531. doi: 10.1007/s11745-005-1414-0.
- Blanchard G., Makombu J. G., Kestemont P. Influence of different dietary 18:3n-3/18:2n-6 ratio on growth performance, fatty acid composition and hepatic ultrastructure in Eurasian perch, *Perca fluviatilis* // Aquaculture. 2008. Vol. 284, No 1–4. P. 144–150. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.07.011.
- Brown T. D., Francis D. S., Turchini G. M. Can dietary lipid source circadian alternation improve omega-3 deposition in rainbow trout? // Aquaculture. 2010. Vol. 300, No 1–4. P. 148–155. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.12.020.
- Carter C. G. Aquaculture: nutrition for growth and product quality // Asia Pac. J. Clin. Nutr. 2003. No 12. P. 115–122.
- Collins S. A., Desai A. R., Mansfield G. S. et al. The effect of increasing inclusion rates of soybean, pea and canola meals and their protein concentrates on the growth of rainbow trout: Concepts in diet formulation and experimental design for ingredient evaluation // Aquaculture. 2012. Vol. 344–349. P. 90–99. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.02.018.
- Emre Y., Okumus I., Maltas O. Trout farming. Marine aquaculture in Turkey // Turkish Marine Reserch Foundation. Istanbul Turkey. 2007. P. 21–26.

Engelbrecht F. M., Mari F., Anderson J. T. Cholesterol determination in serum. A rapid direction method // *Med. J.* 1974. Vol. 48, No 7. P. 250–356.

FAO Fisheries and aquaculture information and statistics service. Aquaculture production 1950–2006. FiSHSTAT plus-universal software for fishery statistical time series [online or CD-ROM]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2008. 122 p.

FAO The state of world fisheries and aquaculture, 2008. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2009. 96 p.

Grisdale-Helland B., Shearer K. D., Gatlin D. M., Helland S. J. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, protein digestibility, feed utilization and body composition of Atlantic cod (*Gadus morhua*) // *Aquaculture*. 2008. Vol. 283, No 1–4. P. 156–162. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.07.013.

Gümüş E., İköz R. Effect of dietary levels of lipid and carbohydrate on growth performance, chemical contents and digestibility in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792 // *Pakistan Vet. J.* 2009. Vol. 29. P. 59–63.

Hochachka P. W., Somero G. N. Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution. New York: Oxford University Press, 2002. 466 p.

Hua K., Bureau D. P. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds // *Aquaculture*. 2009. Vol. 286, No 3–4. P. 180–184. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.09.028.

Jamieson G. R. GLS-identification techniques for longchain unsaturated fatty acids // *J. Chromatogr. Sci.* 1975. Vol. 13, No 10. P. 491–497.

Kjær M. A., Vegusdal A., Berge G. M. et al. Characterisation of lipid transport in Atlantic cod (*Gadus morhua*) when fasted and fed high or low fat diets // *Aquaculture*. 2009. Vol. 288, No 3–4. P. 325–336. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.12.022.

Pratoomyot J., Bendiksen E. A., Campbell P. J. et al. Effects of different blends of alternative protein sources as alternatives to dietary fishmeal on growth performance

and body lipid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) // *Aquaculture*. 2011. Vol. 316, No 1–4. P. 44–52. doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.03.007.

Randall K. M., Reaney M. J. T., Drew M. D. Effect of dietary coriander oil and vegetable oil sources on fillet fatty acid composition of rainbow trout // *Canadian Journal of Animal Science*. 2013. Vol. 93. P. 345–352.

Ruyter B., Røjø C., Grisdale-Helland B. et al. Influence of temperature and high dietary linoleic acid content on esterification, elongation, and desaturation of PUFA in atlantic salmon hepatocytes // *Lipids*. 2010. Vol. 38, No 8. P. 833–840.

Sahasrabudhe M. R. Crismer values and erucic acid contents of rapeseed oils // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1977. Vol. 54, No 8. P. 320–324.

Thanuthong T., Francis D. S., Manickam E. et al. Fish oil replacement in rainbow trout diets and total dietary PUFA content: II) Effects on fatty acid metabolism and in vivo fatty acid bioconversion // *Aquaculture*. 2011. Vol. 322–323. P. 99–108.

Tocher D. R. Metabolism and Functions of Lipids and Fatty Acids in Teleost Fish // *Reviews in Fisheries Science*. 2003. Vol. 11, No 2. P. 107–184.

Tocher D. R., Bendiksen E. Å., Campbell P. J., Bell J. G. The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish // *Aquaculture*. 2008. Vol. 280. P. 21–34.

Tucker C. S., Hargreaves J. A. Biology and culture of channel catfish / C. S. 369 Tucker: Elsiver, 2004. 634 p.

Yun B., Mai K., Zhang W., Xu W. Effects of dietary cholesterol on growth performance, feed intake and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed high plant protein diets // *Aquaculture*. 2011. Vol. 319, No 1–2. P. 105–110.

Zaman M. U., Sarker S. R., Hossain S. The effects of industrial effluent discharge on lipid peroxide levels of punti fish *Puntius sophore* tissue in comparison with those of freshwater fish // *Journal of Food Lipids*. 2008. Vol. 15, No 2. P. 198–208.

Поступила в редакцию 15.09.2015

## References

Dgebuadze Yu. Yu. Ekologicheskie zakonomernosti izmenchivosti rosta ryb. [Environmental regularities of variability in fish growth patterns]. Moscow: Nauka, 2001. 276 p.

Eliseeva I. I. Statistika [Statistic]. Moscow: Vysshee obrazovanie, 2007. 566 p.

Filippovich Yu. B., Egorova T. A., Sevast'yanova G. A. Praktikum po obshchei biokhimi [Practical guide on general biochemistry]. Moscow: Prosveshchenie, 1975. 318 p.

Kreps E. M. Kletochnye lipidy i ikh rol' v adaptatsii vodnykh organizmov k usloviyam sushchestvovaniya [Cellular lipids and their role in the adaptation of aquatic organisms to living conditions]. Fiziologiya i biokhimiya morskikh i presnovodnykh zhivotnykh [Physiology and biochemistry of marine and freshwater animals]. Leningrad: Nauka, 1979. P. 3–21.

Mina M. V., Klevezal' G. A. Rost zhivotnykh [Animal growth]. Moscow: Nauka, 1976. 291 p.

Nazarova M. A., Vasil'eva O. B., Ruokolainen T. R., Nemova N. N. Izmenenie lipidnykh pokazatelei korma dlya akvakul'tury raduzhnoi foreli v protsesse ego khraneniya [Changes in lipid parameters of feed for aquaculture of rainbow trout during storage]. Sadkovoe rybovodstvo. Sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy mezhdunarodnoi konferentsii (11–13 oktyabrya 2010 g.) [Cage culture fishery. Status and development prospects. Proc. of intern. conf. (October 11–13, 2010)]. Petrozavodsk: PetrGU, 2010. P. 47–50.

Nazarova M. A., Vasil'eva O. B., Nemova N. N. Otsenka sostava kormov dlya akvakul'tury s tsel'yu ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnykh resursov [Estimation of aquaculture feed composition for rational use of water resources]. Molodye issledovateli – regionam:



materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii [Young researchers – to regions. Proc. intern. sci. conf.]. In 2 vols. Vologda: VoGTU, 2013. Vol. 1. P. 444–445.

Nemova N. N., Vasil'eva O. B., Ruokolainen T. R., Nazarova M. A. Otsenka lipidnykh pokazatelei kombikormov dlya akvakul'tury raduzhnoi foreli v protsesse khraneniya [Assessment of lipid parameters of feed for aquaculture of rainbow trout during storage]. Kormoproizvodstvo [Forage production]. 2011. No 3. P. 44–47.

Ostroumova I. N. Biologicheskie osnovy kormleniya ryb [Biological basis of fish feeding]. St. Petersburg: GosNIORH, 2001. 372 p.

Pravdin I. F. Rukovodstvo po izucheniyu ryb [Fish Study Guide]. Moscow: Pishchevaya prom-t', 1966. 96 p.

Ryzhkov L. P., Kuchko T. Yu., Kuchko Ya. A. Vyrashchivanie foreli v sadkakh [Cultivation of trout in cages]. Petrozavodsk: PetrGU, 2000. 56 p.

Sidorov V. S., Lizenko E. I., Bolgova O. M., Nefedova Z. A. Lipidy ryb. 1. Metody analiza. Tkanevaya spetsifichnost' ryapushki *Coregonus albula* L. [Lipids of fish. 1. Methods of analysis. Tissue specificity of lipids in whitefish *Coregonus albula* L.]. Lososevye (Salmonidae) Karelii [Salmons (Salmonidae) in Karelia]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1972. Vol. 1. P. 152–163.

Shtal' E. Khromatografiya v tonkikh sloyakh [Thin-layer chromatography]. Moscow: Mir, 1965. 508 p.

Shcherbina M. A., Gamygin E. A. Kormlenie ryb v presnovodnoi akvakul'ture [Fish feeding in freshwater aquaculture]. Moscow: VNIRO, 2006. 360 p.

Tsyganov E. P. Metod pryamogo metilirovaniya lipidov posle TSKh bez elyuirovaniya s silikagelya [Method for direct methylation of lipids after TLC without elution with silica gel]. Laboratornoe delo [Laboratory science]. 1971. No 8. P. 490–493.

Aslan S. S., Guven K. C., Gezgin T., Alpaslan M., Tekinay A. Comparison of fatty acid contents of wild and cultured rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in Turkey. *Food Chemistry*. 1996. Vol. 57, No 3. P. 359–363. doi: 10.1111/j.1444-2906.2007.01452.x.

Bell J. G., Pratoomyot J., Strachan F., HENDERSON R. J., Fontanillas R., Hebard A., Guy D. R. Growth, flesh adiposity and fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) families with contrasting flesh adiposity: Effects of replacement of dietary fish oil with vegetable oils. *Aquaculture*. 2010. No 306. P. 225–232. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.05.021.

Bell J. G., Strachan F., Good J. E., Tocher D. R. Effect of dietary echium oil on growth, fatty acid composition and metabolism, gill prostaglandin production and macrophage activity in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquacult. Res.* 2006. Vol. 37. P. 606–617. doi: 10.1111/j.1365-2109.2006.01470.x.

Blanchard G., Makombu J. G., Kestemont P. Influence of different dietary 18:3n-3/18:2n-6 ratio on growth performance, fatty acid composition and hepatic ultrastructure in Eurasian perch, *Perca fluviatilis*. *Aquaculture*. 2008. Vol. 284, No 1–4. P. 144–150. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.07.011.

Blanchet C., Lucas M., Julien P., Morin R., Gin-gras S., Dewailly E. Fatty acid composition of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout

(*Oncorhynchus mykiss*). *Lipids*. 2005. Vol. 40, No 5. P. 529–531. doi: 10.1007/s11745-005-1414-0.

Brown T. D., Francis D. S., Turchini G. M. Can dietary lipid source circadian alternation improve omega-3 deposition in rainbow trout? *Aquaculture*. 2010. Vol. 300, No 1–4. P. 148–155. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.12.020.

Carter C. G. Aquaculture: nutrition for growth and product quality. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 2003. No 12. P. 115–122.

Collins S. A., Desai A. R., Mansfield G. S., Hill J. E., Van Kessel A. G., Drew M. D. The effect of increasing inclusion rates of soybean, pea and canola meals and their protein concentrates on the growth of rainbow trout: Concepts in diet formulation and experimental design for ingredient evaluation. *Aquaculture*. 2012. Vol. 344–349. P. 90–99. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.02.018.

Emre Y., Okumus I., Maltas O. Trout farming. Marine aquaculture in Turkey. *Turkish Marine Reserch Foundation*. Istanbul Turkey. 2007. P. 21–26.

Engelbrecht F. M., Mari F., Anderson J. T. Cholesterol determination in serum. A rapid direction method. *Med. J.* 1974. Vol. 48, No 7. P. 250–356.

FAO Fisheries and aquaculture information and statistics service. Aquaculture production 1950–2006. FISHSTAT plus-universal software for fishery statistical time series [online or CD-ROM]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2008. 122 p.

FAO The state of world fisheries and aquaculture, 2008. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2009. 96 p.

Grisdale-Helland B., Shearer K. D., Gatlin D. M., Helland S. J. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, protein digestibility, feed utilization and body composition of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*. 2008. Vol. 283, No 1–4. P. 156–162. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.07.013.

Gümüş E., İköz R. Effect of dietary levels of lipid and carbohydrate on growth performance, chemical contents and digestibility in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792. *Pakistan Vet. J.* 2009. Vol. 29. P. 59–63.

Hochachka P. W., Somero G. N. Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution. New York: Oxford University Press. 2002. 466 p.

Hua K., Bureau D. P. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds. *Aquaculture*. 2009. Vol. 286, No 3–4. P. 180–184. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.09.028.

Jamieson G. R. GLS-identification techniques for longchain unsaturated fatty acids. *J. Chromatogr. Sci.* 1975. Vol. 13, No 10. P. 491–497.

Kjær M. A., Vegusdal A., Berge G. M., Galloway T. F., Hillestad M., Krogdahl Å., Holm H., Ruyter B. Characterisation of lipid transport in Atlantic cod (*Gadus morhua*) when fasted and fed high or low fat diets. *Aquaculture*. 2009. Vol. 288, No 3–4. P. 325–336. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.12.022.

Pratoomyot J., Bendiksen E. A., Campbell P. J., Jauncey K. J., Bell J. G., Tocher D. R. Effects of different blends of alternative protein sources as alternatives to dietary fishmeal on growth performance and body lipid

composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*. 2011. Vol. 316, No 1–4. P. 44–52. doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.03.007.

Randall K. M., Reaney M. J. T., Drew M. D. Effect of dietary coriander oil and vegetable oil sources on fillet fatty acid composition of rainbow trout. *Canadian Journal of Animal Science*. 2013. Vol. 93. P. 345–352.

Ruyter B., Røjø C., Grisdale-Helland B., Rosenlund G., Obach A., Thomassen M. S. Influence of temperature and high dietary linoleic acid content on esterification, elongation, and desaturation of PUFA in atlantic salmon hepatocytes. *Lipids*. 2010. Vol. 38, No 8. P. 833–840.

Sahasrabudhe M. R. Crismer values and erucic acid contents of rapeseed oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1977. Vol. 54, No 8. P. 320–324.

Thanuthong T., Francis D. S., Manickam E., Senadheera S. D., Cameron-Smith D., Turchini G. M. Fish oil replacement in rainbow trout diets and total dietary PUFA content: II) Effects on fatty acid metabolism and in vivo fatty acid bioconversion. *Aquaculture*. 2011. Vol. 322–323. P. 99–108.

Tocher D. R. Metabolism and Functions of Lipids and Fatty Acids in Teleost Fish. *Reviews in Fisheries Science*. 2003. Vol. 11, No 2. P. 107–184.

Tocher D. R., Bendiksen E. Å., Campbell P. J., Bell J. G. The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish. *Aquaculture*. 2008. Vol. 280. P. 21–34.

Tucker C. S., Hargreaves J. A. Biology and culture of channel catfish / C. S. 369 Tucker: Elsilver, 2004. 634 p.

Yun B., Mai K., Zhang W., Xu W. Effects of dietary cholesterol on growth performance, feed intake and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed high plant protein diets. *Aquaculture*. 2011. Vol. 319, No 1–2. P. 105–110.

Zaman M. U., Sarker S. R., Hossain S. The effects of industrial effluent discharge on lipid peroxide levels of punti fish *Puntius sophore* tissue in comparison with those of freshwater fish. *Journal of Food Lipids*. 2008. Vol. 15, No 2. P. 198–208.

Received September 15, 2015

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Васильева Ольга Борисовна

старший научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, к. б. н.  
Институт биологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910  
эл. почта: vasil@krc.karelia.ru  
тел.: (8142) 769810

### Назарова Марина Александровна

старший преподаватель кафедры химии ПИ  
Вологодский государственный университет  
ул. Ленина, 15, Вологда, Россия, 160035  
эл. почта: marinamarina35@yandex.ru  
тел.: (8172) 725201

### Рипатти Паули Онниевич

ведущий научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, к. б. н.  
Институт биологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910

### Немова Нина Николаевна

директор, член-корр. РАН, д. б. н.  
Институт биологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910  
эл. почта: nemova@krc.karelia.ru  
тел.: (8142) 769810

## CONTRIBUTORS:

### Vasil'eva, Olga

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: vasil@krc.karelia.ru  
tel.: (8142) 769810

### Nazarova, Marina

Vologda State University  
15 Lenin St., 160035 Vologda, Russia  
e-mail: marinamarina35@yandex.ru  
tel.: (8172) 725201

### Ripatti, Pauli

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

### Nemova, Nina

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: nemova@krc.karelia.ru  
tel.: (8142) 769810