

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ГИДРОБИОНТОВ

DOI: 10.24143/2073-5529-2018-2-104-113
УДК 639.3.043.14: 577.115

О. Б. Васильева, М. А. Назарова, Н. Н. Немова

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОСТАВА ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ТКАНЯХ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ *PARASALMO MYKISS* (WALBAUM, 1792), КУЛЬТИВИРУЕМОЙ НА РАЗЛИЧНЫХ КОМБИКОРМАХ¹

Проведено сравнительное исследование состава жирных кислот в мышцах, печени и внутреннем жире у радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792), выращенной на различных комбикормах в период с апреля по июль. Обнаружены различия в жирнокислотном составе комбикормов: в корме № 2, по сравнению с кормом № 1, выявлен более низкий уровень длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (в том числе физиологически значимых эйкозапентаеновой 20: 5(n-3) и докозапентаеновой 22: 6 (n-3) кислот). В связи с этим наблюдается снижение прироста массы рыб, культивированных на данном корме. Показана значимость влияния трофического фактора на распределение жирных кислот в мышцах и внутреннем жире рыб, поскольку данные ткани относятся к депонирующим липиды тканям у радужной форели. В данных тканях у разных групп рыб накапливались жирные кислоты, преобладающие в кормах, на которых выращивалась радужная форель. Установлена высокая степень влияния трофического фактора на уровень полиненасыщенных жирных кислот семейств n-9 и n-4, содержание которых в тканях форели составляло около 1 %. Состав жирных кислот в печени форели, как наиболее метаболически активном органе, в меньшей степени обусловлен влиянием изученных факторов. Степень ассимиляции докозагексаеновой 22: 6 (n-3) кислоты у радужной форели, вероятно, зависела от уровня эйкозапентаеновой 20: 5 (n-3) кислоты в корме. Установлено, что изменение уровня исследованных жирнокислотных компонентов в мышцах и внутреннем жире форели при смене сезонов связано с увеличением частоты кормления рыб в летний период.

Ключевые слова: аквакультура, радужная форель, комбикорма, жирные кислоты, состав корма.

Введение

Ростовые процессы у гидробионтов зависят от целого комплекса внешних и внутренних факторов, одним из наиболее значимых является трофический фактор, поскольку состав пищи и степень ее доступности во многом определяет линейно-весовую разнокачественность рыб. С кормом в организм рыб поступают структурные компоненты, участвующие в пластическом обмене, и субстраты для окисления, обеспечивающие необходимой энергией метаболические пути превращения веществ. В форелевых хозяйствах рыбы культивируются на искусственных комбикормах, исходное сырье для производства которых должно максимально соответствовать естественной пище радужной форели. Активное развитие аквакультуры лососевых привело к дефициту основной липидной составляющей кормов – рыбьего жира – и экономически обремененной необходимости его замены на растительные масла. Наличие в составе пищи нехарактерных для натурального питания радужной форели компонентов может оказать существенное влияние на метаболизм рыб и, как следствие, привести к изменению нормального протекания ростовых, генеративных и других физиологических процессов [1].

¹ Финансовое обеспечение исследования осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания № 0221-2017-0050 (№ г.р. АААА-А17-117031710039-3).

В настоящее время активно изучается влияние различных компонентов комбикормов на состав тканей и темп роста марикультуры рыб, и одним из наиболее дискуссионных остается вопрос о жирнокислотном составе корма [2–4]. Особенности состава жирных кислот в тканях пресноводной аквакультуры лососевых рыб исследованы в гораздо меньшей степени. Целью данной работы было проведение сравнительного анализа сезонной динамики жирнокислотного состава внутреннего жира, мышц и печени радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792), выращенной на кормах с различным составом.

Материалы и методы исследования

Исследованы две группы рыб (группы № 1 и 2) возраста 1+, выращенные на комбикормах различного состава (корм № 1 и 2) в форелевом хозяйстве, расположенном на Онежском озере (Республика Карелия, 61° 99' 63'' с. ш.; 35° 63' 96'' в. д.). Отбор проб осуществляли в весенне-летний период (апрель–июль). В апреле в северных озерах происходят таяние снега и льда и смена годового цикла форели – с зимовки на нагул, – что сопровождается постепенным увеличением частоты кормления рыб (табл. 1).

Таблица 1

Основные характеристики условий выращивания и объекта исследования

Показатель	Период		Апрель		Май		Июнь		Июль	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Группа рыб, комбикорм №	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Количество рыб, л	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Частота кормления, раз/неделя	2	2	5	5	14	14	14	14	14	14
Температура воды в день отбора проб, °С	0,3		10,1		15,2		17,3			
Температура воды (средняя за неделю до отбора проб), °С	0,1		9,8		14,9		15,8			
Средняя длина рыб, см	12,6 ± 1,9	12,6 ± 2,0	14,1 ± 1,9	13,3 ± 2,1	16,4 ± 1,5	14,9 ± 2,0	18,7 ± 1,9	16,2 ± 2,3		
Средняя масса рыб, г	23,5 ± 2,3	23,8 ± 2,7	32,8 ± 2,1	27,1 ± 3,1	53,7 ± 3,9	42,8 ± 3,8	118,7 ± 5,6	65,5 ± 6,3		
Прирост массы за месяц, %	–	–	39,6	13,9	63,7	57,9	61,1	53,1		

В данной работе оценивали содержание 26 индивидуальных жирных кислот общих липидов и сумм насыщенных, мононенасыщенных и n-3 и n-6 полиненасыщенных кислот в тканях рыб. Пробы фиксировали смесью Фолча (хлороформ:метанол в соотношении 2:1 по объему). С целью определения содержания жирных кислот выделенные липиды подвергали прямому метилированию [5]. Полученные метиловые эфиры жирных кислот разделяли на хроматографе «Кристалл 5000» («Хроматек», Йошкар-Ола). Идентификацию жирных кислот проводили путем сопоставления времени выхода пиков экспериментального образца и метчиков, количественный анализ осуществляли при помощи компьютерной «Программы подсчета хроматограмм».

Обработку данных выполняли статистическими методами: сравнение двух выборок осуществляли при помощи критерия Вилкоксона – Манна – Уитни ($p \leq 0,05$), для оценки влияния сезона и состава кормов на исследуемые параметры использовали многофакторный дисперсионный анализ [6].

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр» Российской академии наук.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлен более высокий уровень насыщенных и n-3 длинноцепочечных ($C \geq 20$) полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в корме № 1, по сравнению с кормом № 2, что может свидетельствовать о преимущественном использовании рыбьего жира в качестве липидной компоненты при производстве корма № 1 [2]. Высокий уровень длинноцепочечных ПНЖК семейства n-3 (таких, как эйкозапентаеновая и докозапентаеновая кислоты) в комбикорме необходим для нормального развития радужной форели и способствует ее активному росту [2]. Корм № 2, по сравнению с кормом № 1, содержит большее количество моноеновых жирных кислот (ЖК), в том числе эруковой 22:1(n-9) (табл. 2).

Содержание жирных кислот в комбикормах

Показатель	Корм № 1	Корм № 2
	% от суммы жирных кислот	
16:0 пальмитиновая	21,23 ± 2,7	15,09 ± 1,9 ^a
Сумма насыщенных кислот	33,85 ± 2,3	21,35 ± 0,7 ^a
18:1(n-9) олеиновая	17,91 ± 1,1	28,53 ± 0,7 ^a
22:1(n-9) эруковая	0,54 ± 0,2	3,59 ± 0,2 ^a
Сумма моноеновых кислот	25,81 ± 2,3	46,25 ± 3,1 ^a
Сумма (n-9) ПНЖК	0,72 ± 0,4	0,23 ± 0,1
18:2(n-6) линолевая	3,25 ± 0,7	12,21 ± 2,0 ^a
20:4(n-6) арахидоновая	1,11 ± 0,3	0,45 ± 0,05 ^a
Сумма (n-6) ПНЖК	6,13 ± 1,1	14,09 ± 0,9 ^a
Сумма (n-4) ПНЖК	1,27 ± 0,8	0,54 ± 0,5
18:3(n-3) линоленовая	1,23 ± 0,3	3,85 ± 0,4 ^a
20:5(n-3) эйкозапентаеновая	14,97 ± 1,3	5,27 ± 0,8 ^a
22:6(n-3) докозагексаеновая	7,29 ± 1,5	5,49 ± 1,7
(n-3) ПНЖК	28,35 ± 2,1	16,08 ± 1,3 ^a
Сумма ПНЖК	41,43 ± 3,3	32,27 ± 2,7 ^a

*a – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении корма № 1 и корма № 2.

Согласно литературным данным вопрос о влиянии высокой концентрации данной кислоты в комбикорме на метаболизм радужной форели является дискуссионным. По мнению одной группы авторов, эруковая кислота не оказывает значимого воздействия на физиолого-биохимические характеристики состояния рыб [7, 8]; согласно другим источникам, превышение ее содержания в корме более 3 % может привести к нарушению процессов роста и развития организма, вплоть до гибели рыб [9]. Следует отметить, что в корме № 2 уровень эруковой кислоты близок к указанному пределу (табл. 2). Установлено, что содержание линоленовой кислоты в корме № 2 выше, чем в корме № 1, а арахидоновой – ниже (табл. 2). В организме радужной форели осуществляется элонгация и десатурация ЖК, поэтому ПНЖК могут синтезироваться из незаменимых кислот – линолевой и линоленовой, содержание которых в обоих исследованных комбикормах соответствовало необходимому, согласно некоторым рекомендациям, уровню [10, 11]. Однако собственный синтез ПНЖК в организме рыб не восполняет их физиологически необходимое количество [12] и, соответственно, недостаток длинноцепочечных ПНЖК в корме № 2 может привести к задержке роста форели соответствующей группы. Так, в результате проведенного исследования установлено, что прирост массы рыб группы № 1, которых кормили комбикормом с относительно высоким уровнем эйкозапентаеновой и докозапентаеновой кислот, увеличился с 39,6 % в мае до 61,1 % в июле; для второй группы рыб он был значительно меньше (табл. 2).

Установлено значимое влияние трофического фактора на распределение ЖК в мышцах и внутреннем жире форели (табл. 3)

Таблица 3

Степень влияния состава корма и сезона на липидные показатели тканей радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) *

Показатель	Внутренний жир		Мышцы		Печень	
	Корм	Сезон	Корм	Сезон	Корм	Сезон
16:0 пальмитиновая	65,2** 187,5	4,9 5,0	57,4 110,5	–	23,05 63,3	14,7 12,5
Сумма насыщенных кислот	74,3 327,2	4,0 4,2	69,5 249,7	–	33,5 99,2	9,5 8,6
18:1(n-9) олеиновая	16,7 37,0	22,5 16,3	66,1 181,5	7,2 7,8	36,8 87,4	11,9 10,8
22:1(n-9) эруковая	59,3 247,1	9,9 13,5	77,4 398,7	17,6 20,8	19,4 23,7	13,5 6,4
Сумма моноеновых кислот	54,8 235,2	5,0 5,6	71,9 427,3	9,5 11,2	17,8 47,5	9,1 8,3
Сумма (n-9) ПНЖК	89,5 481,6	6,8 8,1	69,2 199,9	–	47,7 99,4	9,1 12,8
18:2(n-6) линолевая	69,4 279,5	13,2 16,7	69,8 847,3	14,3 58,9	53,9 149,5	13,3 12,8

Показатель	Внутренний жир		Мышцы		Печень	
	Корм	Сезон	Корм	Сезон	Корм	Сезон
20:4(n-6) арахидоновая	68,3 155,9	–	21,5 87,7	–	–	27,3 29,9
Сумма (n-6) ПНЖК	62,5 189,7	16,9 25,7	69,7 547,3	15,4 42,3	23,1 59,4	14,2 12,1
Сумма (n-4) ПНЖК	82,8 135,4	11,8 14,4	83,6 164,2	9,1 10,3	50,8 87,2	6,4 12,3
18:3(n-3) линоленовая	86,3 978,8	3,2 14,5	87,5 1154,1	6,2 32,9	39,4 186,5	19,7 28,5
20:5(n-3) эйкозапентаеновая	21,6 23,4	–	62,9 259,2	4,9 7,5	6,3 9,0	7,2 5,8
22:6(n-3) докозагексаеновая	38,8 99,2	9,8 5,3	–	14,5 12,3	6,7 16,3	6,4 6,9
(n-3) ПНЖК	–	–	48,4 183,5	13,9 14,5	7,2 17,8	7,3 7,9
Сумма ПНЖК	6,4 5,9	16,8 7,3	45,4 93,2	11,8 8,9	8,1 22,3	7,7 8,1

* Приведены только статистически значимые значения.

** Данные в числителе – % от общей дисперсии, по результатам анализа MANOVA, значимые при $p < 0,05$; в знаменателе – значение F-критерия.

Снижение насыщенных (НЖК) и мононенасыщенных (МНЖК) жирных кислот в депонирующих тканях рыб с апреля по май, возможно, свидетельствует об интенсивном расходовании резервов организма на поддержание жизнедеятельности рыб в послезимовальный период, поскольку именно данные ЖК преимущественно используются в качестве окислительных субстратов [13]. С июня начинается интенсивное кормление рыб, и в депонирующих тканях радужной форели группы № 1 увеличивается содержание суммы насыщенных ЖК и снижается уровень моноеновых кислот, а у рыб группы № 2, напротив, уменьшается количество НЖК и возрастает содержание олеиновой кислоты и других МНЖК, что, вероятно, связано с соответствующим жирнокислотным профилем комбикормов [14]. Так, для корма № 1 характерно высокое содержание насыщенных кислот, а для корма № 2 – моноеновых кислот (см. табл. 2).

Трофический фактор оказывает значительное воздействие на содержание эруковой 22:1 (n-9) кислоты во внутреннем жире и мышцах рыб (табл. 3). Обнаружено накопление данной кислоты с апреля по июль в тканях рыб (табл. 4–6), что может быть связано с возрастанием частоты кормления форели к концу периода исследования и, возможно, свидетельствует об отсутствии или сниженной активности ферментов, участвующих в ее метаболизме.

Таблица 4

Содержание жирных кислот
в мышцах радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) (по группам)*

Кислота, % суммы ЖК	Апрель		Май		Июнь		Июль	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
16:0 пальмитиновая	18,8 ± 2,2	15,2 ± 1,4 ^a	19,2 ± 2,3	17,3 ± 0,9 ^a	19,8 ± 0,7	13,6 ± 0,4 ^{ac}	20,2 ± 0,7	10,3 ± 0,4 ^{ad}
Сумма насыщенных кислот	27,0 ± 2,2	22,7 ± 1,7 ^a	27,3 ± 2,1	22,5 ± 1,1 ^a	28,7 ± 1,4	19,7 ± 1,2 ^{ac}	29,5 ± 1,5	16,2 ± 1,3 ^a
18:1(n-9) олеиновая	16,2 ± 2,9	24,1 ± 1,5 ^a	14,2 ± 1,0 ^b	19,7 ± 0,8 ^{ab}	12,8 ± 0,8 ^c	22,1 ± 1,5 ^{ac}	12,6 ± 0,6	20,5 ± 1,5 ^a
22:1(n-9) эруковая	1,0 ± 0,2	2,7 ± 0,2 ^a	1,1 ± 0,1	2,1 ± 0,2 ^{ab}	0,9 ± 0,1	3,1 ± 0,2 ^{ac}	1,1 ± 0,1	2,4 ± 0,3 ^a
Сумма моноеновых кислот	29,8 ± 3,5	39,6 ± 2,2 ^a	26,4 ± 1,4	33,9 ± 1,2 ^{ab}	24,8 ± 1,2 ^c	40,9 ± 2,1 ^c	26,1 ± 0,8	42,0 ± 1,9 ^a
Сумма (n-9) ПНЖК	0,8 ± 0,2	0,3 ± 0,1 ^a	0,6 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,2 ± 0,1 ^a
18:2(n-6) линолевая	3,5 ± 0,6	7,7 ± 0,6 ^a	3,5 ± 0,4	6,5 ± 0,4 ^a	3,7 ± 0,4	7,2 ± 0,3 ^a	4,0 ± 0,3	10,1 ± 0,3 ^{ad}
20:4(n-6) арахидоновая	0,9 ± 0,1	0,6 ± 0,1 ^a	1,2 ± 0,2 ^b	1,2 ± 0,3 ^b	1,1 ± 0,1	0,6 ± 0,1 ^c	1,2 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Сумма (n-6) ПНЖК	6,6 ± 0,5	10,1 ± 0,5 ^a	6,4 ± 0,4	9,6 ± 0,5 ^a	6,0 ± 0,3 ^c	9,5 ± 0,2 ^a	6,6 ± 0,3	13,2 ± 0,5 ^{ad}
Сумма (n-4) ПНЖК	1,1 ± 0,4	0,6 ± 0,1 ^a	1,1 ± 0,3	0,6 ± 0,05 ^a	1,1 ± 0,1	0,6 ± 0,02 ^a	1,1 ± 0,1	0,6 ± 0,02 ^a
18:3(n-3) линоленовая	1,1 ± 0,3	2,5 ± 0,3 ^a	1,0 ± 0,2	1,9 ± 0,2 ^{ab}	0,8 ± 0,1	2,0 ± 0,1 ^a	1,1 ± 0,1	2,1 ± 0,01 ^a

Окончание табл. 4

Кислота, % суммы ЖК	Апрель		Май		Июнь		Июль	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
20:5(n-3) эйкозапентаеновая	6,9 ± 0,3	4,6 ± 0,3 ^a	7,2 ± 0,2 ^b	5,2 ± 0,5 ^{ab}	7,2 ± 0,4	3,7 ± 0,5 ^a	8,4 ± 0,3 ^d	3,5 ± 0,3 ^{ad}
22:6(n-3) докозагексаеновая	17,9 ± 1,3	14,8 ± 1,1 ^a	19,5 ± 0,7 ^b	20,3 ± 1,3 ^b	20,2 ± 1,0	22,9 ± 1,4 ^a	19,4 ± 1,2	25,4 ± 0,7 ^{ad}
Сумма (n-3) ПНЖК	28,7 ± 1,8	22,1 ± 1,9 ^a	32,7 ± 1,1 ^{ab}	28,2 ± 1,2 ^{ab}	35,4 ± 1,3 ^c	27,8 ± 1,3 ^{ac}	34,4 ± 1,1	31,2 ± 0,5 ^d
Сумма ПНЖК	37,5 ± 1,2	36,5 ± 1,2 ^a	42,0 ± 1,4	41,8 ± 1,6 ^b	44,6 ± 1,1 ^c	37,5 ± 1,7 ^{ac}	43,5 ± 0,9	43,0 ± 0,3

* *a* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении групп рыб № 1 и № 2; *b* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении показателей в апреле и мае; *c* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении показателей в мае и июне; *d* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении показателей июне и июле.

Таблица 5

**Содержание жирных кислот
в печени радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) (по группам)***

Кислота, % суммы ЖК	Апрель		Май		Июнь		Июль	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
16:0 пальмитиновая	22,6 ± 2,0	16,5 ± 1,2 ^a	29,7 ± 2,3 ^b	18,3 ± 0,9 ^{ab}	33,5 ± 2,3	20,5 ± 1,1 ^a	31,3 ± 1,4 ^d	23,7 ± 2,0 ^{ad}
Сумма насыщенных кислот	42,5 ± 3,3	33,5 ± 2,3 ^a	45,4 ± 2,1	32,3 ± 1,2 ^a	47,3 ± 3,0 ^e	31,5 ± 1,2 ^a	50,9 ± 2,0	26,1 ± 2,7 ^{ad}
18:1(n-9) олеиновая	14,1 ± 1,5	20,3 ± 1,5 ^a	17,5 ± 0,9 ^b	15,3 ± 0,8 ^b	12,6 ± 1,6 ^c	17,2 ± 0,5 ^{ac}	12,7 ± 0,4	26,8 ± 1,3 ^{ad}
22:1(n-9) эруковая	1,2 ± 0,4	1,6 ± 0,3	1,1 ± 0,4	1,5 ± 0,2	0,8 ± 0,1 ^c	1,2 ± 0,3	0,6 ± 0,1	1,5 ± 0,4 ^{ad}
Сумма моноеновых кислот	30,9 ± 1,1	34,3 ± 1,8 ^a	32,2 ± 2,0	33,9 ± 0,4	28,7 ± 2,2	37,2 ± 1,5 ^{ac}	24,6 ± 1,2 ^d	42,2 ± 1,6 ^{ad}
Сумма (n-9) ПНЖК	0,5 ± 0,1	0,3 ± 0,0 ^a	0,5 ± 0,1	0,3 ± 0,1 ^a	0,6 ± 0,1	0,3 ± 0,1 ^a	0,7 ± 0,1	0,4 ± 0,1 ^a
18:2(n-6) линолевая	3,1 ± 0,5	5,2 ± 0,4 ^a	3,3 ± 0,5	5,4 ± 0,5 ^a	3,3 ± 0,3	5,5 ± 0,4 ^a	3,3 ± 0,2	6,4 ± 0,5 ^{ad}
20:4(n-6) арахидоновая	1,8 ± 0,6	1,6 ± 0,2	1,6 ± 0,3	1,5 ± 0,3	1,8 ± 0,5	1,6 ± 0,3	1,7 ± 0,3	1,3 ± 0,1 ^d
Сумма (n-6) ПНЖК	5,7 ± 0,5	8,1 ± 0,6 ^a	5,7 ± 0,6	8,1 ± 0,6 ^a	5,7 ± 0,7	8,1 ± 0,8 ^a	5,9 ± 0,7	8,5 ± 1,1 ^a
Сумма (n-4) ПНЖК	0,9 ± 0,3	0,6 ± 0,1	0,9 ± 0,3	0,6 ± 0,1	1,8 ± 0,2	0,7 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,8 ± 0,2
18:3(n-3) линоленовая	0,9 ± 0,3	1,4 ± 0,2 ^a	0,9 ± 0,2	1,6 ± 0,2 ^a	0,9 ± 0,2	1,7 ± 0,1 ^a	1,0 ± 0,2	1,7 ± 0,2 ^a
20:5(n-3) эйкозапентаеновая	1,6 ± 1,4	5,4 ± 0,5 ^a	1,2 ± 0,1 ^b	5,6 ± 0,3 ^a	2,5 ± 0,6	5,2 ± 0,4 ^a	2,3 ± 0,3	5,7 ± 0,9 ^a
22:6(n-3) докозагексаеновая	11,4 ± 1,9	9,8 ± 0,8	11,2 ± 0,6	9,8 ± 0,6	12,2 ± 0,5	9,4 ± 0,4 ^{ac}	12,0 ± 1,0	8,6 ± 1,8 ^a
Сумма (n-3) ПНЖК	14,7 ± 3,5	19,7 ± 1,5 ^a	15,5 ± 0,7	20,3 ± 1,2 ^a	15,1 ± 1,1	21,3 ± 0,5 ^a	17,3 ± 1,5	21,9 ± 1,1 ^a
Сумма ПНЖК	24,0 ± 3,2	31,7 ± 0,6 ^a	21,8 ± 1,4	33,9 ± 0,6 ^a	20,9 ± 2,3	31,1 ± 1,2 ^a	23,5 ± 1,6	31,9 ± 1,4 ^a

* *a* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении групп рыб № 1 и № 2; *b* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении показателей в апреле и мае; *c* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении показателей в мае и июне; *d* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении показателей июне и июле.

Таблица 6

**Содержание жирных кислот (в % суммы жирных кислот)
во внутреннем жире радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) (по группам)***

Кислота, % суммы ЖК	Апрель		Май		Июнь		Июль	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
16:0 пальмитиновая	17,5 ± 0,7	14,3 ± 0,3 ^a	16,3 ± 0,4 ^b	14,7 ± 0,4 ^a	16,1 ± 1,1	12,4 ± 0,3 ^a	18,5 ± 1,1 ^{ad}	12,2 ± 0,3 ^a
Сумма насыщенных кислот	28,8 ± 0,8	21,7 ± 0,7 ^a	27,4 ± 1,2 ^b	23,3 ± 0,5 ^a	27,7 ± 1,2	19,7 ± 0,6 ^{ac}	30,9 ± 1,2 ^d	17,4 ± 0,5 ^{ad}
18:1(n-9) олеиновая	20,9 ± 1,1	25,7 ± 1,1 ^a	23,2 ± 1,1	25,9 ± 0,8 ^a	21,7 ± 0,9	24,2 ± 1,5 ^a	17,5 ± 0,9 ^d	24,3 ± 0,7 ^a
22:1(n-9) эруковая	1,7 ± 0,2	3,7 ± 0,2 ^a	2,2 ± 0,4	3,9 ± 0,5 ^a	2,5 ± 0,3	4,1 ± 0,5 ^a	1,6 ± 0,3	4,3 ± 0,3 ^a
Сумма моноеновых кислот	42,8 ± 1,5	47,2 ± 0,7 ^a	43,9 ± 0,9	47,3 ± 1,0 ^a	43,2 ± 0,8	48,6 ± 0,7 ^a	38,1 ± 1,2 ^d	49,6 ± 1,4 ^{ad}
Сумма (n-9) ПНЖК	0,8 ± 0,1	0,5 ± 0,1 ^a	0,8 ± 0,2	0,4 ± 0,1 ^a	0,8 ± 0,1	0,4 ± 0,1 ^a	0,8 ± 0,2	0,4 ± 0,1 ^a
18:2(n-6) линолевая	5,5 ± 0,4	8,3 ± 0,6 ^a	6,4 ± 0,5	7,8 ± 0,6 ^a	6,7 ± 0,5	8,6 ± 0,3 ^a	6,5 ± 0,4	10,9 ± 1,1 ^{ad}
20:4(n-6) арахидоновая	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,2 ^a	0,8 ± 0,2	0,5 ± 0,1 ^a	0,8 ± 0,2 ^c	0,5 ± 0,1 ^a	0,8 ± 0,2	0,4 ± 0,1 ^a

Кислота, % суммы ЖК	Апрель		Май		Июнь		Июль	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Сумма (n-6) ПНЖК	8,3 ± 0,4	10,3 ± 1,1 ^a	8,9 ± 0,9	10,3 ± 0,5 ^a	9,6 ± 0,6	10,5 ± 0,3 ^a	8,8 ± 0,3	14,5 ± 0,7 ^{ad}
Сумма (n-4) ПНЖК	1,5 ± 0,3	0,8 ± 0,3 ^a	1,6 ± 0,3	0,8 ± 0,1 ^a	1,3 ± 0,2	0,6 ± 0,1 ^a	1,5 ± 0,1 ^d	0,5 ± 0,1 ^a
18:3(n-3) линоленовая	1,3 ± 0,2	2,3 ± 0,1 ^a	1,1 ± 0,1	2,3 ± 0,2 ^a	1,1 ± 0,1	2,4 ± 0,1 ^a	1,1 ± 0,2	2,9 ± 0,2 ^{ad}
20:5(n-3) эйкозапентаеновая	4,9 ± 0,5	3,9 ± 0,6 ^a	4,0 ± 1,1	4,6 ± 1,2	5,8 ± 1,2	4,7 ± 0,6	5,6 ± 0,5 ^d	3,2 ± 0,5 ^{ad}
22:6(n-3) докозагексаеновая	6,1 ± 1,2	7,5 ± 0,6 ^a	6,2 ± 1,5	7,5 ± 0,7 ^a	6,9 ± 0,8 ^c	7,0 ± 0,3	7,2 ± 0,6	7,4 ± 0,7 ^{ad}
Сумма (n-3) ПНЖК	15,9 ± 2,1	17,7 ± 0,9 ^a	15,9 ± 1,4	7,2 ± 1,3 ^a	17,3 ± 1,1 ^c	18,2 ± 0,8	19,5 ± 1,1 ^d	16,9 ± 1,1 ^a
Сумма ПНЖК	25,9 ± 2,3	29,7 ± 1,2 ^a	27,4 ± 1,3	28,9 ± 1,1	28,7 ± 1,2 ^c	31,0 ± 0,3	31,9 ± 1,2 ^d	32,1 ± 1,2

* *a* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении групп рыб № 1 и № 2; *b* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении показателей в апреле и мае; *c* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении показателей в мае и июне; *d* – различия достоверны при $p \leq 0,05$, при сравнении показателей июне и июле.

В результате проведенных исследований установлено, что прирост массы рыб, потреблявших корм № 2 с большим содержанием эруковой кислоты, значительно ниже, чем у рыб, которых кормили комбикормом с меньшим уровнем данной кислоты (см. табл. 2).

Наиболее наглядно влияние корма прослеживается при оценке воздействия сезонного и трофического факторов на уровень нехарактерных для тканей рыб жирных кислот, которые в составе корма присутствуют в минорных концентрациях. К таким кислотам, помимо эруковой кислоты, относятся ПНЖК семейств n-9 и n-4. Установлена высокая степень влияния трофического фактора на уровень данных кислот в тканях рыб (см. табл. 3). Сезонные изменения жирных кислот семейств n-9 и n-4 ПНЖК, содержание которых в тканях форели составляет менее 1 %, в основном определяются их накоплением, связанным с началом нагульного периода (см. табл. 4–6), что, вероятно, обусловлено не температурными адаптациями, а увеличением частоты кормления рыб [15]. Данные модификации служат еще одним доказательством доминирующего воздействия трофического фактора на жирнокислотный спектр тканей рыб [16], при этом содержание ЖК в запасующих тканях форели в большей степени определялось составом корма, чем в печени рыб (табл. 3), что согласуется с ранее проведенными исследованиями других авторов [17]. В литературе нет единого мнения в интерпретации приоритетной адаптационной стратегии изменения уровня ПНЖК в тканях рыб при смене температурного и кормового режимов. Так, одни исследователи считают, что состав корма определяет жирнокислотный состав тканей рыб [11, 15], а другие – колебания температур [18, 19].

Уровень n-6 жирных кислот во всех изученных тканях определялся в основном содержанием доминирующей для данного семейства линолевой кислотой. Установлено возрастание уровня линолевой кислоты в запасующих тканях форели обеих групп к июню (см. табл. 4, 6), что, вероятно, связано с ее восполнением при затратах в зимний период. Влияние корма на содержание линолевой кислоты во всех исследованных тканях оказалось достоверным (см. табл. 3), поскольку уровень данной кислоты в организме рыб напрямую зависит от ее экзогенного поступления [2].

В данном исследовании не обнаружено значительных изменений в содержании линоленовой кислоты в органах рыб в течение всего периода исследования. Данная кислота относится к эссенциальным веществам, и постоянная концентрация линоленовой кислоты в тканях рыб с апреля по июль, вероятно, связана с поддержанием ее определенного физиологически необходимого уровня в клетках рыб. Во всех исследованных тканях форели группы № 2 содержание линоленовой кислоты выше, чем у рыб группы № 1, и увеличивается в июле (табл. 4–6), что, возможно, является следствием разного уровня содержания данной кислоты в соответствующих комбикормах и увеличения частоты кормления рыб в летние месяцы.

Содержание арахидоновой 20:4(n-6) кислоты во внутреннем жире и мышцах форели определялось преимущественно составом соответствующих комбикормов, а в печени – сменой сезона. Данная специфика, вероятно, объясняется функциональными особенностями тканей: внутренний жир и мышцы являются основными депонирующими тканями у радужной форели, что определяет высокую степень влияния трофического фактора (см. табл. 3). При исследовании

влияния уровня арахидоновой кислоты в корме на ихтиологические показатели угря было установлено, что для нормального роста и развития рыб необходимо наличие арахидоновой кислоты в корме в количестве не менее 0,7 % [20]. Нами был показан более низкий прирост массы радужной форели, культивирующейся на корме с содержанием арахидоновой кислоты: 0,45 % по сравнению с рыбами, кормившимися комбикормом с 1,1 % данной кислоты (см. табл. 1, 2). Печень лососевых является метаболически активным органом, и снижение уровня арахидоновой 20:4 (n-6) кислоты в исследованный период может быть обусловлено ее расходом на синтез эйкозаноидов [21].

Трофический фактор оказал значительное влияние на уровень докозагексаеновой 22:6 (n-3) кислоты во внутреннем жире и печени радужной форели (см. табл. 3). Несмотря на отсутствие различий в содержании данной кислоты в корме № 1 и 2 (см. табл. 2), установлен значительно более низкий уровень докозагексаеновой 22:6 (n-3) кислоты в тканях рыб группы № 1 по сравнению с форелью группы № 2 (см. табл. 5, 6). По данным ряда исследователей, концентрация докозагексаеновой 22:6 (n-3) кислоты у сенегальской солеи обратно пропорциональна содержанию эйкозапентаеновой 20:5 (n-3) кислоты в корме [16]. Действительно, в настоящем исследовании обнаружено, что уровень 20:5 (n-3) в корме № 1 более чем в 3 раза выше, чем в корме № 2.

Заключение

Таким образом, особенности жирнокислотного спектра изученных тканей радужной форели определялись, в первую очередь, их функциональной принадлежностью. Мышцы и внутренний жир у лососевых рыб относятся к депонирующим липиды тканям, поэтому жирнокислотный состав данных тканей зависел в основном от трофического фактора. Состав жирных кислот в печени форели, как наиболее метаболически активном органе, в меньшей степени обусловлен влиянием изученных факторов. Установлено, что изменение уровня исследованных компонентов в мышцах и внутреннем жире при смене сезонов связано с увеличением частоты кормления рыб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назарова М. А., Васильева О. Б., Немова Н. Н. Сезонные изменения липидного состава тканей радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792), выращенной на различных кормах // Уч. зап. Петрозав. гос. ун-та. Сер.: Биологические науки. 2017. № 6 (167). С. 12–20.
2. 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. № 306. P. 225–232.
3. Yigit N. Ö., Bahadır Koca S., Bayrak H., Dulluç A. İ. Diler Effects of canola meal on growth and digestion of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 2012. Vol. 36 (5). P. 533–538.
4. Santos A., Cranada L., Baptista T., Pombo A. Effect of three diets on the growth and fatty acid profile of the common ragworm *Hediste diversicolor* (O. F. Müller, 1776) // *Aquaculture*. 2016. Vol. 280. P. 21–34.
5. Цыганов Э. П. Метод прямого метилирования липидов после ТСХ без элюирования с силикагеля // Лабораторное дело. 1971. № 8. С. 490–493.
6. Елисеева И. И. Статистика. М.: Высш. обр., 2007. 566 с.
7. Drew M. D., Ogunkoya A. E., Janz D. M., Kessel v. A. G. Dietary influence of replacing fish meal and oil with canola protein concentrate and vegetable oils on growth performance, fatty acid composition and organochlorine residues in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *Acuaculture*. 2007. Vol. 267. № 1–4. P. 260–268.
8. Collins S. A., Desai A. R., Mansfield G. S., Hill J. E., Kessel v. 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 // *Acuaculture*. 2012. Vol. 344–349. P. 90–99.
9. Tucker C. S., Hargreaves J. A. Biology and culture of channel catfish. Elsilver, 2004. 634 p.
10. Остроумова И. Н. Биологические основы кормления рыб. СПб., 2001. 372 с.
11. 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* // *Acuaculture*. 2008. Vol. 284. № 1–4. P. 144–150.
12. Thanuthong T., Francis D. S., Senadheera S. D., Jones P. L., Turchini G. M. Fish oil replacement in rainbow trout diets and total dietary PUFA content: I) Effects on feed efficiency, fat deposition and the efficiency of a finishing strategy // *Acuaculture*. 2011. Vol. 320. № 1–2. P. 82–90.

13. Weber J.-M., Brichon G., Zwingelstein G. Fatty acid metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) tissues: differential incorporation of palmitate and oleate // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2003. Vol. 60. № 10. P. 1281–1288.
14. Skonberg D. I., Rasco B. A., Dong F. M. Fatty acid composition of salmonid muscle changes in response to a high oleic acid diet // J Nutr. 1994. Vol. 124. № 9. P. 1628–1638.
15. Hua K., Bureau D. P. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds // Aquaculture. 2009. Vol. 286. № 3–4. P. 180–184.
16. Villalta M. A., Estévez A., Bransden M. P., Bell J. G. Effects of dietary eicosapentaenoic acid on growth, survival, pigmentation and fatty acid composition in Senegal sole (*Solea senegalensis*) larvae during the Artemia feeding period // Aquaculture Nutrition. 2008. Vol. 14. № 3. P. 232–241.
17. Csengeri I., Albrecht M. L., Steffens W., Oláh J. Use of solid fat in dry mixed feed for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). 2. Fatty acid composition of feed and tissue lipids (Article in German) // Arch Tierernähr. 1986. Vol. 36. № 7. P. 653–663.
18. Bowden L. A., Restall C. J., Rowley A. F. The influence of environmental temperature on membrane fluidity, fatty acid composition and lipoxygenase product generation in head kidney leucocytes of the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* // Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology. 1996. Vol. 115. № 3. P. 375–382.
19. Ng W. K., Codabaccus B. M., Carter C. G., Nichol D. P. D. Replacing dietary fish oil with palm fatty acid distillate improves fatty acid digestibility in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, maintained at optimal or elevated water temperature // Aquaculture. 2010. Vol. 309. № 1–4. P. 165–172.
20. Bae J. Y., Han K. M., Park G. J., Bai S. C. Studies of requirements of optimum dietary essential fatty acids in juvenile eel, *Anguilla japonica* // J. Aquacult. 2004. Vol. 17. № 4. P. 275–281.
21. Tocher D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish // Reviews in Fisheries Science. 2003. Vol. 11. № 2. P. 107–184.

Статья поступила в редакцию 10.05.2018

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Васильева Ольга Борисовна – Россия, 185910, Петрозаводск; Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»; канд. биол. наук; старший научный сотрудник лаборатории экологической биохимии; olga_4428@mail.ru.

Назарова Марина Александровна – Россия, 160000, Вологда; Вологодский государственный университет; канд. биол. наук; доцент кафедры химии; marinamarina35@yandex.ru.

Немова Нина Николаевна – Россия, 185910, Петрозаводск; Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»; г-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАН; главный научный сотрудник лаборатории экологической биохимии; nemova@krc.karelia.ru.



O. B. Vasilieva, M. A. Nazarova, N. N. Nemova

SEASONAL DYNAMICS OF FATTY ACIDS COMPOSITION IN TISSUE OF RAINBOW TROUT *PARASALMO MYKISS* (WALBAUM, 1792), CULTIVATED ON VARIOUS DIETS

Abstract. A comparative study of the composition of fatty acids in muscles, liver and internal fat in rainbow trout *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) grown on various diets in the period from April to July was effected. Differences in content of dietary fatty acids in diet 1 and diet 2 were found. A significantly lower level of long-chain polyunsaturated fatty acids (including physiologically signif-

icant eicosapentaenoic 20: 5(n-3) and docosapentaenoic 22: 6(n-3) acids) was detected in diet № 2, compared to diet № 1. As a result, deficiency of dietary eicosapentaenoic and docosapentaenoic acids leads to a slow rate of fishes growth. A significant influence of the trophic factor on the distribution of fatty acids in muscles and internal fat of fish is shown, because lipids in rainbow trout accumulate in these tissues. The degree of accumulation of different dietary fatty acids in muscles and internal fat of trout was depended on fatty acids that prevailed in the diet on which the rainbow trout was grown. A high degree of influence of the trophic factor on the level of polyunsaturated fatty acids of families n-9 and n-4 was found, the content of which in trout tissues was about 1%. Composition of fatty acids in trout liver, as the most metabolically active organ, is less conditioned by the influence of the factors studied. The degree of assimilation of docosahexaenoic 22: 6 (n-3) acid in rainbow trout probably depended on the level of eicosapentaenoic 20: 5 (n-3) acid in the diet. It has been stated that changing the level of fatty acids in muscles and internal fat of trout during seasonal changes is associated with an increase in the frequency of feeding of fishes in the summer.

Key words: aquaculture, rainbow trout, diet, fatty acids, diet composition.

REFERENCES

1. Nazarova M. A., Vasil'eva O. B., Nemova N. N. Sezonnnye izmeneniia lipidnogo sostava tkanei raduzhnoi foreli *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792), vyrashchennoi na razlichnykh kormakh [Seasonal changes of lipid composition in tissues of rainbow trout *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) grown on different feeding stuff]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serii: Biologicheskie nauki*, 2017, no. 6 (167), pp. 12-20.
2. 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, pp. 225-232.
3. Yigit N. Ö., Bahadir Koca S., Bayrak H., Dulluç A. İ. Diler Effects of canola meal on growth and digestion of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 2012, vol. 36 (5), pp. 533-538.
4. Santos A., Cranada L., Baptista T., Pombo A. Effect of three diets on the growth and fatty acid profile of the common ragworm *Hediste diversicolor* (O. F. Müller, 1776). *Aquaculture*, 2016, vol. 280, pp. 21-34.
5. Tsyganov E. P. Metod priamogo metilirovaniia lipidov posle TSKh bez eliuirvaniia s silikagelii [Method of direct methylating lipids after thin-layer chromatography without elution of silica gel]. *Laboratornoe delo*, 1971, no. 8, pp. 490-493.
6. Eliseeva I. I. *Statistika* [Statistics]. Moscow, Vysshee obrazovanie Publ., 2007. 566 p.
7. Drew M. D., Ogunkoya A. E., Janz D. M., Kessel v. A. G. Dietary influence of replacing fish meal and oil with canola protein concentrate and vegetable oils on growth performance, fatty acid composition and organochlorine residues in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acuaculture*, 2007, vol. 267, no. 1-4, pp. 260-268.
8. 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. *Acuaculture*, 2012, vol. 344-349, pp. 90-99.
9. Tucker C. S., Hargreaves J. A. *Biology and culture of channel catfish*. Elsilver, 2004. 634 p.
10. Ostroumova I. N. *Biologicheskie osnovy kormleniia ryb* [Biological backgrounds of fish nutrition]. Saint-Petersburg, 2001. 372 p.
11. 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*. *Acuaculture*, 2008, vol. 284, no. 1-4, pp. 144-150.
12. Thanuthong T., Francis D. S., Senadheera S. D., Jones P. L., Turchini G. M. Fish oil replacement in rainbow trout diets and total dietary PUFA content: I) Effects on feed efficiency, fat deposition and the efficiency of a finishing strategy. *Acuaculture*, 2011, vol. 320, no. 1-2, pp. 82-90.
13. Weber J-M., Brichon G., Zwingelstein G. Fatty acid metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) tissues: differential incorporation of palmitate and oleate. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2003, vol. 60, no. 10, pp. 1281-1288.
14. Skonberg D. I., Rasco B. A., Dong F. M. Fatty acid composition of salmonid muscle changes in response to a high oleic acid diet. *J Nutr.*, 1994, vol. 124, no. 9, pp. 1628-1638.
15. Hua K., Bureau D. P. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds. *Acuaculture*, 2009, vol. 286, no. 3-4, pp. 180-184.
16. Villalta M. A., Estévez A., Bransden M. P., Bell J. G. Effects of dietary eicosapentaenoic acid on growth, survival, pigmentation and fatty acid composition in Senegal sole (*Solea senegalensis*) larvae during the *Artemia* feeding period. *Aquaculture Nutrition*, 2008, vol. 14, no. 3, pp. 232-241.

17. Csengeri I., Albrecht M. L., Steffens W., Oláh J. Use of solid fat in dry mixed feed for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). 2. Fatty acid composition of feed and tissue lipids (Article in German). *Arch Tierernahr.*, 1986, vol. 36, no. 7, pp. 653-663.
18. Bowden L. A., Restall C. J., Rowley A. F. The influence of environmental temperature on membrane fluidity, fatty acid composition and lipoxygenase product generation in head kidney leucocytes of the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 1996, vol. 115, no. 3, pp. 375-382.
19. Ng W. K., Codabaccus B. M., Carter C. G., Nichols P. D. Replacing dietary fish oil with palm fatty acid distillate improves fatty acid digestibility in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, maintained at optimal or elevated water temperature. *Aquaculture*. 2010. vol. 309, no. 1-4, pp. 165-172.
20. Bae J. Y., Han K. M., Park G. J., Bai S. C. Studies of requirements of optimum dietary essential fatty acids in juvenile eel, *Anguilla japonica*. *J. Aquacult.*, 2004, vol. 17, no. 4, pp. 275-281.
21. Tocher D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in Fisheries Science*, 2003, vol. 11, no. 2, pp. 107-184.

The article submitted to the editors 10.05.2018

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vasil'eva Olga Borisovna – Russia, 185910, Petrozavodsk; Federal Research Centre "Karelian scientific Centre of RAS"; Candidate of Biology; Senior Researcher of Laboratory of Environmental Biochemistry; olga_4428@mail.ru.

Nazarova Marina Aleksandrovna – Russia, 160000, Vologda; Vologda State University; Candidate of Biology; Assistant Professor of the Department of Chemistry; marinamarina35@yandex.ru.

Nemova Nina Nikolaevna – Russia, 185910, Petrozavodsk; Federal Research Centre "Karelian scientific Centre of RAS"; Doctor of Biology, Professor, Corresponding Member of RAS; Chief Researcher of Laboratory of Environmental Biochemistry; nemova@krc.karelia.ru.

