

ЗИНАИДА АНАТОЛЬЕВНА НЕФЕДОВА

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

znefed@krc.karelia.ru

СВЕТЛАНА АЛЕКСАНДРОВНА МУРЗИНА
кандидат биологических наук, заведующий лабораторией экологической биохимии, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

murzina.svetlana@gmail.com

СВЕТЛАНА НИКОЛАЕВНА ПЕККОЕВА
младший научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

pek-svetlana@mail.ru

НИНА НИКОЛАЕВНА НЕМОВА
доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

nemova@krc.karelia.ru

СОДЕРЖАНИЕ ЛИПИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ У МОЛОДИ КУМЖИ *SALMO TRUTTA* L. ИЗ РЕКИ ОРЗЕГА (БАССЕЙН ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА)

I. Динамика жирнокислотного состава в процессе роста и развития молоди (1+, 2+, 3+) кумжи*

Исследован жирнокислотный статус молоди кумжи (1+, 2+, 3+) из реки Орзега (бассейн Онежского озера) в летний период. Показано повышение уровня эссенциальных 18:2n-6 и 18:3n-3 жирных кислот с возрастом у исследуемых рыб, причем доля линолевой 18:2n-6 кислоты была выше. У молоди кумжи с возрастом не выявлено достоверных различий по степени активности метаболических превращений эссенциальных 18:2n-6 и 18:3n-3 жирных кислот в более длинноцепочечные ПНЖК, которые определяют жирнокислотный состав липидов морского типа. Показатели конвертации эссенциальных жирных кислот в длинноцепочечные ПНЖК, которые выражаются коэффициентами соотношений 22:6n-3/18:3n-3 и 20:4n-6/18:2n-6, у молоди в процессе роста достоверно не изменились, что свидетельствует о принадлежности кумжи в реке Орзега к жилой форме. Представленные коэффициенты соотношений жирных кислот могут быть использованы в качестве индикаторов физиологического состояния молоди лососевых, определяя дальнейшую миграцию или ее отсутствие.

Ключевые слова: молодь, кумжа, лососевые, жирные кислоты, река Орзега

ВВЕДЕНИЕ

Лососевые рыбы характеризуются высокой вариабельностью жизненных стратегий [7], [22]. Кумжа *Salmo trutta* L. является одним из представителей лососевых рыб (*Salmonidae*) и имеет сложную систему популяций. Эта рыба сохраняет высокий уровень экологической и морфологической пластичности и генетического разнообразия [3]. В состав единой популяции входят проходная, нагуливающаяся в Онежском озере, и жилая формы кумжи, которые образуют в реке Орзега единое нерестовое стадо. Река Орзега – типичный кумжевый водоток, который протекает по западному берегу Онежского озера. Известно, что для рыб, обитающих в разных трофоэколог-

ических условиях, характерны особенности липидного метаболизма, в том числе модификация жирных кислот и их соотношений в липидах рыб [5], [6], [18]. Жирнокислотный статус, как один из интегральных показателей обмена веществ, может служить физиолого-биохимическим маркером состояния организма рыб и отражать процессы внутрипопуляционной дифференцировки и развития.

В настоящей работе у молоди кумжи (1+, 2+, 3+) из реки Орзега исследовали состав и содержание жирных кислот общих липидов, которые являются одними из компонентов метаболизма липидов, обеспечивающих процессы роста и развития рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы

Отлов молоди кумжи разных возрастных групп (1+, 2+, 3+) проводили по окончании позднего весенне-летнего паводка, в середине июня (2016 год). Руслу реки Орзега достаточно насыщено порогами и перекатами. Глубины изменяются в пределах 0,2–0,7 м, скорость течения – 0,5–0,9 м/с. Сочетание небольшой глубины и разнообразного фракционного состава грунта (разно-размерные галька и валуны, глыбы) формирует в русле систему струй и протоков, что повышает турбулентность потока и благоприятно отражается на кормовой базе кумжи. Это необходимо как для успешного питания молоди кумжи, так и для ее маскировки от хищников.

Активное питание кумжи начинается при температуре воды 13,5 °С. Молодь кумжи питается преимущественно реофильными донными беспозвоночными, а также воздушными и наземными насекомыми. В отличие от лосося, кумжа предпочитает более мелкие ручьи и притоки с быстрым течением и наличием укрытий (камней, коряг, ям) и обладает более высокими физическими возможностями [11]. Молодь (1+, 2+, 3+) кумжи из р. Орзега имеет сравнительно высокие размерно-весовые характеристики.

Для вылова рыб использовали аппарат электролова (Fa-2) норвежского производства. После отлова мальков выдерживали в течение суток в русловых садках для снятия эффекта воздействия электрического поля.

Биохимические методы исследования

Индивидуальные пробы молоди рыб гомогенизировали в небольшом количестве этилового спирта (96 %), затем фиксировали смесью хлороформ:метанол (2:1) и хранили при температуре +4 °С до анализа. Липиды экстрагировали и очищали по методу Фолча [16], концентрировали досуха с помощью роторно-вакуумной установки. Затем проводили метанолиз жирных кислот общих липидов [8]. После метанолиза жирные кислоты в виде метиловых эфиров разделяли и идентифицировали методом газожидкостной хроматографии с применением хроматографа «Кристалл 5000.2» (ЗАО «ХРОМАТЭК», Йошкар-Ола, Россия). В качестве внутреннего стандарта использовали бегеновую кислоту (22:0) (Sigma Aldrich, USA), обработку хроматограмм проводили с помощью компьютерной программы обработки хроматограмм «Хроматэк Аналитик» (ЗАО «ХРОМАТЭК», Йошкар-Ола, Россия). Жирнокислотный статус молоди кумжи оценивали индивидуально по содержанию отдельных жирных кислот и их соотношениям.

Результаты проведенных экспериментов были обработаны с применением общепринятых методов вариационной статистики [2] с использованием компьютерных программ Excel и Stadia.

Работа проведена с использованием научного оборудования центра коллективного пользования «Комплексные фундаментальные и прикладные исследования особенностей функционирования живых систем в условиях Севера» (ЦКП ИБ КарНЦ РАН).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В общих липидах молоди кумжи возраста 1+, 2+ и смолтах 3+ обнаружено до 50 жирных кислот (ЖК), включая миорные (таблица).

Показано высокое содержание полиненасыщенных ЖК (ПНЖК) (в пределах 39,96–43,33 % от суммы ЖК), среди которых доминируют ПНЖК n-3 семейства (21,57–25,90 % от суммы ЖК), в частности 22:6n-3, 20:5n-3 и 18:3n-3 кислоты. Уровень ПНЖК n-6 семейства у молоди был в пределах 13,74–17,39 % от суммы ЖК, с более высокой долей 18:2n-6 (от 7,91 до 10,24 % от суммы ЖК), а также 20:4n-6 (3,63–3,83 % от суммы ЖК). Установлены различия в содержании эssенциальных линоловой 18:2n-6 и линоленовой 18:3n-3 кислот, содержание которых повышалось с возрастом молоди (от 7,91 до 10, 24 % и от 4,75 до 6,48 % от суммы соответственно), причем доля первой из них была выше во всех возрастных группах рыб. Все изменения достоверны. При этом показатель соотношения эssенциальных 18:3n-3/18:2n-6 кислот в процессе роста молоди достоверно не изменялся (0,60–0,64).

У молоди всех возрастных групп установлена более низкая концентрация длинноцепочечных ПНЖК арахидоновой 20:4n-6 (3,63–3,94) и эйко-запентаеновой 20:5n-3 (3,61–4,75) по сравнению с их метаболическими предшественниками 18:2n-6 (7,91–10,24) и 18:3n-3 (4,75–6,48) кислотами соответственно. При этом в процессе роста молоди уровень 20:4n-6 кислоты и 22:6n-3 не изменялся, а уровень 20:5n-3 снизился у смолтов. Помимо ПНЖК в общих липидах молоди кумжи высока доля мононенасыщенных ЖК (МНЖК) (29,49–31,35 % от суммы ЖК), в которых доминирует олеиновая 18:1n-9 кислота (16,47–19,53 % от суммы ЖК) с достоверно повышенным уровнем у смолтов 3+. В метаболизме насыщенных ЖК (НЖК), уровень которых у молоди кумжи был в пределах 25,41–31,83 % от суммы ЖК, ключевая роль принадлежит пальмитиновой 16:0 и стеариновой 18:0 кислотам (в пределах 14,95–19,69 и 5,69–7,74 % от суммы ЖК соответственно). При этом содержание НЖК, в том числе 16:0 и 18:0 кислот, было выше у пестряток 1+, с возрастом их доля достоверно уменьшалась. Интенсивность обмена липидов, определяемая по соотношению концентраций 16:0/18:1n-9, достоверно снижалась с возрастом молоди.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Состав и содержание как ПНЖК, так и МНЖК в липидах рыб в значительной степени определя-

Жирнокислотный состав (% суммы ЖК) разновозрастной (1+; 2+; 3+) кумжи из р. Орзега. Сбор проб: 29.06.2016

Показатель	Возраст		
	1+	2+	3+
n	5	9	5
Длина, см	7,75 ± 0,45	11,47 ± 0,16*	13,86 ± 0,24*^
Вес, г	4,06 ± 0,53	14,57 ± 0,69*	27,50 ± 1,60*^
14:00	1,35 ± 0,17	1,75 ± 0,16	1,62 ± 0,13
16:00	19,69 ± 0,69	15,42 ± 0,18*	14,95 ± 0,36*
18:00	7,74 ± 0,56	6,02 ± 0,04*	5,69 ± 0,08*^
20:00	1,28 ± 0,14	2,28 ± 0,22	1,91 ± 0,19
Σ НЖК	31,83 ± 1,79	26,90 ± 0,25*	25,41 ± 0,27*^
14:1(n-7)	1,10 ± 0,25	1,14 ± 0,12	0,77 ± 0,12
16:1(n-9)	0,73 ± 0,05	0,59 ± 0,01*	0,60 ± 0,01*
16:1(n-7)	5,47 ± 0,84	5,51 ± 0,18	5,12 ± 0,41
17:1(n-7)	0,23 ± 0,02	0,25 ± 0,03	0,20 ± 0,04
18:1(n-9)	17,18 ± 0,55	16,47 ± 0,26	19,53 ± 0,52^
18:1(n-7)	4,71 ± 0,57	3,87 ± 0,16	3,39 ± 0,25
18:1(n-5)	0,20 ± 0,03	0,17 ± 0,01	0,14 ± 0,02
20:1(n-9)	0,37 ± 0,00	0,38 ± 0,02	0,50 ± 0,03^
Σ МНЖК	31,05 ± 2,43	29,49 ± 0,26	31,35 ± 1,15
18:2(n-6)	7,91 ± 0,37	9,21 ± 0,13*	10,24 ± 0,51*^
20:4(n-6)	3,63 ± 0,75	3,94 ± 0,07	3,83 ± 0,23
Σ (n-6) ПНЖК	13,74 ± 0,55	15,88 ± 0,10*	17,39 ± 0,41*^
18:3(n-3)	4,75 ± 0,07	5,85 ± 0,18*	6,48 ± 0,19*^
18:4(n-3)	0,80 ± 0,05	1,08 ± 0,08	0,85 ± 0,05
20:4(n-3)	0,50 ± 0,04	0,57 ± 0,03	0,54 ± 0,06
20:5(n-3)	4,11 ± 0,83	4,75 ± 0,11	3,61 ± 0,30^
22:5(n-3)	1,22 ± 0,27	1,44 ± 0,05	1,15 ± 0,09^
22:6(n-3)	9,19 ± 2,78	11,13 ± 0,34	10,26 ± 1,07
Σ (n-3) ПНЖК	21,57 ± 3,92	25,90 ± 0,36	24,18 ± 1,31
Σ ПНЖК	39,96 ± 4,26	43,33 ± 0,40*	42,95 ± 1,28
16:0/18:1(n-9)	1,15 ± 0,00	0,94 ± 0,02*	0,77 ± 0,03*^
18:3(n-3)/18:2(n-6)	0,60 ± 0,05	0,64 ± 0,02	0,64 ± 0,02
ΣНЖК/ΣПНЖК	0,90 ± 0,21	0,59 ± 0,02*	0,62 ± 0,02*
20:4(n-6)/18:2(n-6)	0,47 ± 0,16	0,38 ± 0,03	0,43 ± 0,02
22:6(n-3)/ 18:3(n-3)	1,92 ± 0,79	1,59 ± 0,13	1,92 ± 0,14

Примечание. Значения представлены в виде: M ± m. Условные обозначения: n – число проб, НЖК – насыщенные жирные кислоты, МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты, ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты; * – различия от 1+ достоверны ($p \leq 0,05$; ANOVA). ^ – различия от 2+ достоверны ($p \leq 0,05$; ANOVA). В пробах также содержалось $< 1\%$ жирных кислот: 12:0, 15:00, 17:00, 24:0, 14:1(n-9), 15:1(n-9), 16:1(n-5), 20:1(n-11), 20:1(n-7), 14:2(n-9), 15:2(n-9), 16:2(n-9), 18:2(n-9), 14:2(n-7), 14:2(n-6), 16:2(n-6), 18:3(n-6), 20:2(n-6), 20:3(n-6), 22:3(n-6), 22:4(n-6), 22:5(n-6), 16:4(n-4), 18:2(n-4), 18:3(n-4), 16:2(n-3), 16:3(n-3), 16:4(n-3), 18:2(n-3), 20:3(n-3).

ется рационом питания, а также способностью организма модифицировать их применительно к условиям существования. Высокое содержание этих жирных кислот в липидах молоди кумжи указывает на их особую функциональную роль в организме. Докозагексаеновая 22:6n-3 кислота, которая преобладает среди ПНЖК молоди кумжи, выполняет существенную роль в регуляции активности нервных клеток, развитии нервной системы у молоди, в функционировании зрительной системы у рыб, при ее дефиците наблюда-

ются аномалии в поведенческих реакциях [13], [20]. Острота зрения и соответствующие поведенческие реакции играют ведущую роль у молоди рыб, питающихся сносимыми объектами в толще воды, и позволяют экономно расходовать энергию при питании. Большинство речных рыб, в том числе кумжа, обладающих реореакцией, имеют хорошо развитую оптомоторную (зрительно-двигательную) реакцию [9].

Повышение уровня эссенциальных 18:3n-3 и 18:2n-6 кислот с возрастом у молоди кумжи пря-

мо коррелирует с ростом содержания запасных липидов (триацилглицеринов (ТАГ) и эфиров холестерина (ЭХС)), что было установлено нами ранее [4], и свидетельствует о включении их в данный класс липидов. В процессе роста молоди их пищевой спектр расширяется, увеличиваются размеры кормовых объектов [9], что отражается на повышении в организме рыб запасных липидов, и в том числе жирных кислот. У молоди всех возрастных групп доля 18:2n-6 ЖК была выше, чем 18:3n-3 ЖК.

Ранее в наших исследованиях у молоди кумжи из рек Кривой ручей, Ольховка и Индера (бассейн Белого моря) также был установлен более высокий уровень 18:2n-6 ЖК по сравнению с 18:3n-3 ЖК, и с возрастом их содержание повышалось [4]. Физиологически значимым является не столько количество этих эссенциальных кислот, сколько их оптимальное соотношение 18:3n-3/18:2n-6, в связи с существованием конкурентных взаимоотношений в процессе их метаболизма [17], [23]. Следует отметить, что этот показатель в процессе роста молоди жилой формы кумжи из р. Орзега достоверно не изменялся (0,60–0,64) в отличие от такового у проходной формы кумжи из р. Кривой ручей (0,47–0,30) [4]. В липидах макрозообентоса (смешанные виды) из реки Орзега, который является объектом питания молоди кумжи, этот показатель составлял 0,77 [4]. Разновозрастная молодь кумжи (1+, 2+, смолты 3+) из р. Орзега также достоверно не различалась показателями конвертации 18:3n-3 и 18:2n-6 кислот в более длинноцепочечные ПНЖК (22:6n-3 и 20:4n-6 ЖК соответственно), которые определяют жирнокислотный состав липидов морского типа и выражаются коэффициентами соотношений 22:6n-3/18:3n-3 и 20:4n-6/18:2n-6 соответственно [20]. Полученный результат может быть одним из доказательств, свидетельствующих о принадлежности кумжи из реки Орзега к жилой форме.

Проведенные ранее исследования молоди кумжи (0+, 1+, 2+, 3+, 4+) из разных рек бассейна Белого моря (р. Ольховка, р. Индера и р. Кривой ручей) установили снижение с возрастом интенсивности метаболических превращений эссенциальных 18:2n-6 и 18:3n-3 ЖК в более длинноцепочечные ПНЖК, что свидетельствует о снижении активности десатураз при подготовке к морской среде обитания [4]. Для морских рыб характерна низкая активность десатураз, играющих ключевую роль при конвертации этих кислот в более длинноцепочечные ПНЖК, так как в условиях морской среды обитания в пищевых объектах достаточно этих кислот [12], [19].

Олеиновая 18:1n-9 кислота играет важную роль как энергетический источник, необходимый для роста и развития молоди, и особенно при двигательной активности в поисках пищи. Повышение ее уровня коррелирует с ростом запасных ТАГ и ЭХС у пестряток 2+ и смолтов 3+,

что может указывать на включение 18:1n-9 кислоты в эти липиды. В исследовании отдельных видов зообентоса (поденок, мошек, ручейников в р. Орзега), которые доминируют в питании кумжи, содержание 18:1n-9 кислоты составляло значительную долю (от 11,74 до 18,47 % от суммы ЖК) с более высоким показателем у ручейников. Высокое содержание НЖК, в основном за счет 16:0, у молоди коррелирует со значительной их долей у вышеназванных видов зообентоса (от 28,91 до 49,66 % от суммы ЖК). С возрастом у молоди кумжи происходит снижение содержания НЖК, в том числе 16:0 и 18:0 кислот, что было установлено нами ранее для пестряток 3+ кумжи из р. Кривой ручей [4]. Причем значительная часть НЖК может элонгироваться и десатурироваться до более длинноцепочечных ЖК, таких как олеиновая 18:1(n-9) кислота, уровень которой увеличился у молоди 3+. При этом особую роль играет оптимальное соотношение НЖК и ПНЖК, влияющее на микровязкость биомембран, обеспечивающее активность фосфолипидов и их взаимодействие с мембранными белками [14], [21]. Нами установлено, что с возрастом молоди кумжи снижается показатель НЖК/ПНЖК (от 0,90 до 0,62), а также индекс интенсивности обмена липидов, определяемый по соотношению концентраций 16:0/18:1n-9 ЖК [1]. Различная для каждой возрастной группы мальков интенсивность обмена липидов (в частности накопление и расходование жирных кислот) формируется факторами внешней среды (температура, фотoperiod, массовость и видовое разнообразие, тип грунта), обусловленными также, в определенных пределах, возрастными факторами и генетическими особенностями. Известно, что разновозрастная молодь лососевых рыб выбирает различные участки обитания в одном биотопе [10], [15], что определяет видовую специфику кормовых объектов, их массовость, доступность и влияет на степень интенсивности метаболизма жирных кислот в разные возрастные периоды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе роста и развития молоди кумжи (1+, 2+, 3+) в р. Орзега регуляция жизненных функций обеспечивается, наряду с другими механизмами, изменением уровня и соотношений ЖК-компонентов, которые связаны с видовой спецификой кормовых объектов, их количественными характеристиками, что влияет на степень интенсивности метаболических процессов в разные возрастные периоды жизни рыб.

В настоящем исследовании у разновозрастной молоди кумжи не выявлено достоверных различий по степени активности процессов элонгации и десатурации эссенциальных жирных кислот 22:6n-3/18:3n-3 и 20:4n-6/18:2n-6, что может быть одним из доказательств ее принадлежности к жилой форме в р. Орзега.

Полученные данные дополняют представление о важности использования коэффициентов соотношений 22:6n-3/18:3n-3 и 20:4n-6/18:2n-6 в качестве индикаторов физиологического состояния и, возможно, одного из генетических маркеров у молоди лососевых в период ее смолтификации (или в ее отсутствие). Образование жилой (речной) формы кумжи в р. Орзега является одной из жизненных стратегий, имеющих

адаптивное значение для формирования сложной субпопуляционной структуры.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы работы выражают глубокую благодарность сотрудникам лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных ИБ КарНЦ РАН за сбор материала – д. б. н., проф. А. Е. Веселову, а также к. б. н. Д. А. Ефремову, М. А. Ручьеву.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 14-24-00102 «Лососевые рыбы Северо-Запада России: эколого-биохимические механизмы раннего развития».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов А. В. Изменение обмена липидов у кур в онтогенезе // Сельскохозяйственная биология. 1980. Т. 15. № 5. С. 756–761.
2. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. 302 с.
3. Махров А. А. Кумжа (*Salmo trutta* L.) на северо-восточном краю ареала // Принципы экологии. 2013. Т. 2. № 1. С. 5–20.
4. Мурзина С. А., Недедова З. А., Пеккоева С. Н., Веселов А. Е., Барышев И. А., Рипатти П. О., Немова Н. Н. Содержание жирных кислот в кормовых объектах молоди лососевых рыб из рек бассейна Онежского озера // Биология внутренних вод. Неопубл. данные.
5. Немова Н. Н., Мещерякова О. В., Чурова М. В. Показатели энергетического метаболизма в процессах роста и развития лососевых рыб *Salmonidae* // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2015. № 8 (153). С. 7–13.
6. Недедова З. А., Мурзина С. А., Веселов А. Е., Пеккоева С. Н., Руоколайнен Т. Р., Ручьев М. А., Немова Н. Н. Биохимическая разнокачественность по липидному статусу молоди кумжи *Salmo trutta* L., обитающей в реках бассейна Белого моря // Известия РАН. Сер. Биологическая. 2017. № 1. С. 57–62.
7. Павлов Д. С., Савватова К. А. К проблеме соотношения анадромии и резидентности у лососевых рыб (*Salmonidae*) // Вопросы ихтиологии. 2008. Т. 48. № 6. С. 810–824.
8. Цыганов Э. П. Метод прямого метилирования липидов после ТСХ без элюирования с силикагелем // Лабораторное дело. 1971. № 8. С. 490–493.
9. Шустов Ю. А. Экологические аспекты поведения молоди лососевых рыб в речных условиях. СПб.: Наука, 1995. 161 с.
10. Шустов Ю. А., Барышев И. А., Белякова Е. И. Особенности питания атлантического лосося *Salmo salar* L. в субарктической реке Варзуга и ее малых притоках (Кольский полуостров) // Биология внутренних вод. 2012. № 3. С. 66–70.
11. Шустов Ю. А., Веселов А. Е. Питание и рост молоди озерной кумжи *Salmo trutta* L. *morpha lacustris* в водоемах национального парка «Паанаярви» // Экология. Экспериментальная генетика и физиология. Труды КарНЦ РАН. 2007. Вып. 11. С. 142–146.
12. Bell J. G., Henderson R. J., Tocher D. R., McGhee F., Dick J. R., Porter A., Smullen R. P., Sargent J. R. Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid composition and hepatic fatty acid metabolism // J. Nutr. 2002. № 132. P. 222–230.
13. Brett M., Muller-Navarra D. The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic food-web processes // Freshw. Biol. 1997. Vol. 38. P. 483–499.
14. Cejas J. R., Almansa E., Jerez S., Bolanos A., Felipe B., Lorenzo A. Changes in lipid class and fatty acid composition during development in white seabream (*Diplodus sargus*) eggs and larvae // Compar. Biochem. Physiol. B. 2004. Vol. 139. № 2. P. 209–216.
15. Fauchsch K. D. Experimental analysis of salmonid microhabitat selection in streams // Develop. Ecol. Perspect. 21st Cent.: Abstr. 5th Intern. Congr. Ecol. Yokohama. 1990. P. 35.
16. Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipids animal tissue (for brain, liver and muscle) // J. Biol. Chem. 1957. Vol. 226. P. 497–509.
17. Lipids in Aquatic ecosystems / M. T. Arts, M. T. Brett, M. J. Kainz (eds.). Springer, 2009. 377 p.
18. Murzina S. A., Nededova Z. A., Veselov A. E., Ripatti P. O., Nemova N. N., Pavlov D. S. Changes in fatty acid composition during embryogenesis and in young age groups (0+) of Atlantic salmon *Salmo salar* L. The role of rheotactic behavior and lipid composition of fry in the formation of phenotypic groups of salmon in large Arctic rivers // Salmon: Biology, Ecological Impacts and Economic importance / P. T. K. Woo, D. J. Noakes (eds.). N. Y.: Nova Science Publishers, 2014. P. 47–67.
19. Peng J. Y., Larondelle Y., Pham D., Ackman R. G., Polliin X. Polyunsaturated fatty acid profiles of whole body phospholipids and triacylglycerols in anadromous and landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry // Comp. Biochem. Physiol. B. 2003. Vol. 134. P. 335–348.
20. Tocher D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish // Rew. Fish. Sci. 2003. Vol. 11. № 2. P. 107–184.
21. Villalta M., Estevez 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 // Aquac. Nutr. 2008. Vol. 14 (4). P. 232–241.
22. Waples R. T., Pess B., Pess G. Evolutionary history, habitat disturbance regimes, and anthropogenic changes: what do these mean for resilience of Pacific salmon populations? // Ecology and Society. 2009. Vol. 14(1): 3. 18 p.
23. Youdim K. A., Martin A., Joseph J. A. Essential fatty acids and the brain: possible health implications // Int. J. Dev. Neurosci. 2000. Vol. 18. P. 383–399.

Nefedova Z. A., Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS
(Petrozavodsk, Russian Federation)

Murzina S. A., Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS
(Petrozavodsk, Russian Federation)

Pekkoeva S. N., Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS
(Petrozavodsk, Russian Federation)

Nemova N. N., Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS
(Petrozavodsk, Russian Federation)

CONTENT OF LIPID COMPONENTS IN JUVENILES OF *SALMO TRUTTA* L. FROM THE ORZEGA RIVER (ONEGA LAKE BASIN)

I. Dynamics of fatty acids during the process of growth and development in juveniles of brown trout (at the age of 1+, 2+, 3+)

The fatty acid status in juveniles of brown trout (at the age of 1+, 2+, 3+) from the Orzega river (Onega Lake Basin) collected in summer was studied. It was shown that the level of essential 18:2n-6 and 18:3n-3 fatty acids in the studied species increased with age; with that the content of linoleic 18:2n-6 fatty acid was higher. No significant differences were found in the rate of activity of conversions of essential fatty acids – 18:2n-6 and 18:3n-3 in the long-chain PUFAs: the last one indicates the fatty acid composition of “marine” type lipids in juvenile brown trout of different age. The indexes of conversions of essential fatty acids into long-chain PUFAs, performed by the ratios 22:6n-3 / 18:3n-3 and 20:4n-6 / 18:2n-6 fatty acids, did not vary significantly during the growth of juveniles, which pointed to the residential brown trout from of the studied fish in the Orzega river. Presented ratios of fatty acids can be considered as indicators of the physiological state of juvenile salmonids, determining different life-history of brown trout forms – the presence or absence of migration.

Key words: juvenile, brown trout, salmonids, fatty acids, Orzega river

REFERENCES

1. A r h i p o v A. V. Change in lipid metabolism in chickens during ontogenesis [Izmenenie obmena lipidov u kur v ontogeneze]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 1980. Vol. 15. № 5. P. 756–761.
2. I v a n t e r E. V., K o r o s o v A. V. *Vvedenie v kolichestvennyy biologiyu: Ucheb. posobie* [Introduction to quantitative biology: Textbook]. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU, 2011. 302 p.
3. M a h r o v A. A. The trout (*Salmo trutta* L.) on the northeast edge of the range [Kumzha (*Salmo trutta* L.) na severo-vostochnom krayu areala]. *Printsipy ekologii* [Principles of the Ecology]. 2013. Vol. 2. № 1. P. 5–20.
4. M u r z i n a S. A., N e f e d o v a Z. A., P e k k o e v a S. N., V e s e l o v A. E., B a r y s h e v I. A., R i p a t t i P. O., N e m o v a N. N. The content of fatty acids in forage objects of juveniles of salmonids from rivers of Onega Lake Basin [Soderzhanie zhirnykh kislot v kormovykh ob'ektakh molodi lososevykh ryb iz rek basseyna Onezhskogo ozero]. *Biologiya vnutrennikh vod*.
5. N e m o v a N. N., M e s h c h e r y a k o v a O. V., C h u r o v a M. V. Parameters of energy metabolism in the processes of growth and development of salmonids *Salmonidae* [Pokazateli energeticheskogo metabolizma v protsessakh rosta i razvitiya lososevykh ryb *Salmonidae*]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2015. № 8 (153). P. 7–13.
6. N e f e d o v a Z. A., M u r z i n a S. A., V e s e l o v A. E., P e k k o e v a S. N., R u o k o l a y n e n T. R., R u c h ' e v M. A., N e m o v a N. N. The biochemical variability of the lipid status of juveniles of the brown *Salmo trutta* L., inhabiting rivers, belonging to the watershed area of the White Sea Basin [Biokhimicheskaya raznokachestvennost' po lipidnomu statusu molodi kumzhi *Salmo trutta* L., obitayushchey v rekakh basseyna Belogo morya]. *Izvestiya RAN. Seriya Biologicheskaya*. 2017. № 1. P. 57–62.
7. P a v l o v D. S., S a v v a i t o v a K. A. To the problem of the ratio of anadromy and residency in salmonids (*Salmonidae*) [K probleme sootnosheniya anadromii i rezidentnosti u lososevykh ryb (*Salmonidae*)]. *Voprosy ikhtioligi*. 2008. Vol. 48. № 6. P. 810–824.
8. T s y g a n o v E. P. Direct methylation of lipids after TLC without elution with silica gel [Metod pryamogo metilirovaniya lipidov posle TSKh bez elyuirovaniya s silikagel'em]. *Laboratornoe delo*. 1971. № 8. P. 490–493.
9. S h u s t o v Yu. A. *Ekologicheskie aspekty povedeniya molodi lososevykh ryb v rechnykh usloviyakh* [Ecological aspects of the behavior of juveniles of salmonids in riverine conditions]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1995. 161 p.
10. S h u s t o v Yu. A., B a r y s h e v I. A., B e l y a k o v a E. I. Features of feeding of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in the subarctic river Varzuga and its small tributaries (Kola Peninsula) [Osobennosti pitanija atlanticheskogo lososya *Salmo salar* L. v subarkticheskoy reke Varzuga i ee malykh pritokakh (Kol'skiy poluostrov)]. *Biologiya vnutrennikh vod*. 2012. № 3. P. 66–70.
11. S h u s t o v Yu. A., V e s e l o v A. E. Feeding and growth of juveniles of the *Salmo trutta* L. *morpha lacustris* in the water bodies of the Paanajarvi National Park [Pitanie i rost molodi ozernoy kumzhi *Salmo trutta* L. *morpha lacustris* v vodoemakh natsional'nogo parka “Paanayarvi”]. *Ekologiya. Eksperimental'naya genetika i fiziologiya. Trudy KarNTs RAN*. 2007. Issue 11. P. 142–146.
12. B e l l J. G., H e n d e r s o n R. J., T o c h e r D. R., M c G h e e F., D i c k J. R., P o r t e r A., S m u l l e n R. P., S a r g e n t J. R. Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid composition and hepatic fatty acid metabolism // *J. Nutr.* 2002. № 132. P. 222–230.
13. B r e t t M., M u l l e r - N a v a r r a D. The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic food-web processes // *Freshw. Biol.* 1997. Vol. 38. P. 483–499.

14. Cejas J. R., Almansa E., Jerez S., Bolanos A., Felipe B., Lorenzo A. Changes in lipid class and fatty acid composition during development in white seabream (*Diplodus sargus*) eggs and larvae // Compar. Biochem. Physiol. B. 2004. Vol. 139. № 2. P. 209–216.
15. Fausch K. D. Experimental analysis of salmonid microhabitat selection in streams // Develop. Ecol. Perspect. 21st Cent.: Abstr. 5th Intern. Congr. Ecol. Yokohama. 1990. P. 35.
16. Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipids animal tissue (for brain, liver and muscle) // J. Biol. Chem. 1957. Vol. 226. P. 497–509.
17. Lipids in Aquatic ecosystems / M. T. Arts, M. T. Brett, M. J. Kainz (eds.). Springer, 2009. 377 p.
18. Murzina S. A., Nefedova Z. A., Veselov A. E., Rippatti P. O., Nemova N. N., Pavlov D. S. Changes in fatty acid composition during embryogenesis and in young age groups (0+) of Atlantic salmon *Salmo salar* L. The role of rheotactic behavior and lipid composition of fry in the formation of phenotypic groups of salmon in large Arctic rivers // Salmon: Biology, Ecological Impacts and Economic importance. P. T. K. Woo, D. J. Noakes (eds.). N. Y: Nova Science Publishers, 2014. P. 47–67.
19. Peng J. Y., Larondelle Y., Pham D., Ackman R. G., Pollin X. Polyunsaturated fatty acid profiles of the whole body of phospholipids and landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry // Comp. Biochem. Physiol. B. 2003. Vol. 134. P. 335–348.
20. Tocher D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish // Rew. Fish. Sci. 2003. Vol. 11. № 2. P. 107–184.
21. Villalba M., Estevez 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 // Aquac. Nutr. 2008. Vol. 14 (4). P. 232–241.
22. Waples R. T., Pess B., Pess G. Evolutionary history, habitat disturbance regimes, and anthropogenic changes: what do these mean for resilience of Pacific salmon populations? // Ecology and Society. 2009. Vol. 14 (1). 3. 18 p.
23. Youdim K. A., Martin A., Joseph J. A. Essential fatty acids and the brain: possible health implications // Int. J. Dev. Neurosci. 2000. Vol. 18. P. 383–399.

Поступила в редакцию 26.05.2017