

УДК 577.125:597.553.2:591.3

ДИНАМИКА ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЛИПИДОВ В ПРОЦЕССЕ ЭМБРИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ *Salmo salar* L.

© 2012 г. С. А. Мурзина, З. А. Нефедова, П. О. Рипатти, Н. Н. Немова, Л. В. Маркова

Институт биологии Карельского научного центра РАН

185910 Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11

E-mail: imagination@onego.ru

Поступила в редакцию 11.01.11 г.

Окончательный вариант получен 31.05.11 г.

Исследована динамика жирнокислотных спектров общих липидов у пресноводного лосося *Salmo salar* L. в процессе его раннего развития: от образования бластодиска (3 ч) до вылупления (108 сут), а также в икре перед оплодотворением. В ходе эмбрионального развития лосося показан стабильный уровень как суммарных, так и отдельных насыщенных, моноеновых и полиеновых жирных кислот общих липидов. В период вылупления предличинки выявлено изменение жирнокислотных спектров, выражающееся в значительном снижении доли полиненасыщенных жирных кислот семейства (n-6) – (18:2(n-6) и 20:4(n-6)), а также семейства (n-3) и в повышении уровня как суммарных, так и отдельных насыщенных и моноеновых жирных кислот. Обнаруженное изменение степени ненасыщенности жирных кислот мембранных липидов свидетельствует в пользу представления, согласно которому оно является одним из механизмов регуляции активности мембранных ферментов в соответствии с изменившимися условиями жизнедеятельности организма или подготовки к ним. Полученные данные об особенностях расходования и трансформации жирных кислот липидов в эмбриогенезе лосося могут быть использованы для понимания их функциональной роли в развивающемся организме, а также при оценке качества зрелой икры.

Ключевые слова: пресноводный лосось, эмбриогенез, липиды, жирные кислоты.

Многие особенности взрослого организма закладываются на ранних этапах его развития. Жирные кислоты организма находящиеся в основном в связанном состоянии, являются наиболее лабильными компонентами липидных молекул, быстро реагирующими на разнообразные воздействия физиологических и экологических факторов, обеспечивая адаптивные возможности его. Они характеризуются полифункциональностью и каждая играет значительную роль в выполнении разных биологических функций организма (Крепс, 1981; Tocher, 2003). В ряде исследований была показана функциональная роль жирных кислот на разных этапах развития Salmonidae, атлантической сельди, морских ежей, земноводных и др. (Ando, 1962; Болгова и др., 1985; Tocher et al., 1985; Нефедова, 1989; Halver, 2000; Sejas et al., 2004). Такой интерес связан с огромной ролью, которую играют жирные кислоты не только как структурные компоненты запасных и мембранных липидов, но и как одни из основных источников метаболической энергии у рыб (и других животных) в процессе их развития и роста, включая нерест, смолтификацию и миграцию. Они сравнительно быстро включаются в

адаптивные реакции, а совокупность разнообразных жирнокислотных ацилов обеспечивает организму возможность избирать различные пути реагирования как в обычных, так и в экстремальных условиях. К ним относятся регуляция жидкостности биомембран, изменение активности мембраносвязанных ферментов, синтез биологически активных веществ типа простагландинов, лейкотриенов, источником которых являются полиеновые жирные кислоты и др. (Хочачка, Сомеро, 1988; Tocher, 2003).

Цель настоящего исследования – динамика жирнокислотных спектров общих липидов яйцеклеток атлантического лосося *Salmo salar* L. в процессе их эмбрионального развития до вылупления предличинок.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Искусственно оплодотворенная икра атлантического лосося была получена на рыбной станции. В лаборатории она развивалась при температуре +4°C на решетках, омываемых речной водой, которую ежедневно меняли. Отбирали икру

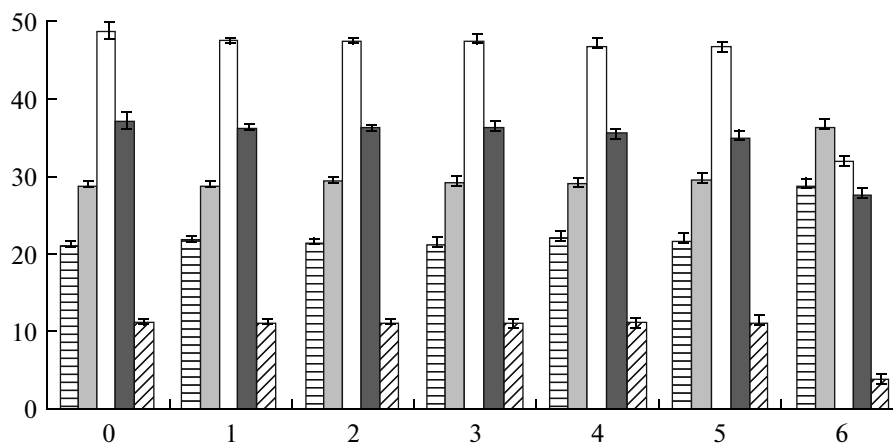


Рис. 1. Динамика содержания основных групп жирных кислот (ЖК): насыщенных (НЖК), моноеновых (МНЖК), полиеновых (ПНЖК), суммы семейства (n-3) ПНЖК, суммы семейства (n-6) ПНЖК в процессе эмбрионального развития пресноводного лосося *Salmo salar* L.

Здесь и на рис. 2–5: по оси абсцисс – стадии эмбрионального развития: 0 – икра перед оплодотворением, 1 – образование бластодиска (3 ч), 2 – дробление бластодиска (7 сут.), 3 – образование хвостовой почки (27 сут.), 4 – начало пульсации сердечной трубки и начало кровообращения (40 сут.), 5 – начало пигментации глаз (60 сут.), 6 – подготовка к выуплещению и частичный выход зародышей из оболочки (108 сут.) (Рыжков, 2004).

По оси ординат – % от суммы ЖК.

▨ – сумма насыщенных ЖК, ▤ – сумма МНЖК, □ – сумма ПНЖК, ■ – сумма (n-3)ПНЖК, ▩ – сумма (n-6)ПНЖК.

на следующих стадиях развития (Рыжков, Крупень, 2004): 1 – перед оплодотворением, 2 – образование бластодиска (3 ч), 3 – дробление бластодиска (7 сут), 4 – образование хвостовой почки (27 сут), 5 – начало пульсации сердечной трубки и начало кровообращения (40 сут), 6 – начало пигментации глаз (60 сут), 7 – частичный выход зародышей из оболочки (108 сут). На каждой стадии развития брали по одной икринке в 15–25 повторностях и фиксировали их 96%-ным этиловым спиртом (1 мл). Пробы гомогенизировали в 10-кратном объеме смеси хлороформ–метанол (2 : 1) и хранили при +4°C. Липиды экстрагировали смесью хлороформ–метанол (2 : 1) (Folch et al., 1957). Общее содержание суммарных липидов определяли весовым методом (Кейтс, 1975). Состав и содержание жирных кислот (ЖК) общих липидов после метилирования (Цыганов, 1971) определяли методом газожидкостной хроматографии. Разделение ЖК проводили на хроматографе “Хроматэк Кристалл–5000.” (Россия) с капиллярными колонками ZB-FFAP, используя в качестве внутреннего стандарта бегеновую (22:0) кислоту (Новак, 1978). ЖК идентифицировали путем сравнения хроматографических подвижностей, имеющих на хроматограмме пиков (времени удерживания и логорифмических индексов) с таковыми для стандартных ЖК при помощи компьютерной программы по обработке “Хроматэк Аналитик”. В работе были использованы стандартные растворы метиловых эфиров жирных кислот “Supelco-Analytical” (USA). Статическую обработку результатов

проводили с помощью пакетов компьютерных программ Excel и STATGRAFICS 2.5 for Windows, используя непараметрический критерий Вилкоксона–Манна–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что содержание связанных насыщенных, моноеновых и полиеновых ЖК в суммарных липидах зрелой преднерестовой икры лосося составляет 21.2, 29.1, 49.0% (от суммы ЖК), соответственно, а в процессе эмбрионального развития (до периода пигментации глазка включительно) оно в пределах 21.6–22.3; 29.1–30.0, 47.0–47.9%, соответственно (рис. 1). Уровень ненасыщенности ЖК высок, прежде всего, за счет содержания полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) семейства (n-3): в зрелой икре – 37.5% (от суммы ЖК), а в процессе эмбриогенеза – в пределах 35.4–36.6% (от суммы ЖК); количество ПНЖК семейства (n-6) значительно ниже – в зрелой икре их доля составляет 11.3% (от суммы ЖК), а в процессе эмбриогенеза – в пределах 11.1–11.4% (рис. 1). Таким образом, основной процент ЖК в липидах икры лосося до оплодотворения и в процессе ее эмбрионального развития составляют длинноцепочечные, высоконенасыщенные ЖК, что подтверждает их важную функциональную роль в организме (Tocher, 2003). Известно, что ПНЖК семейства (n-3) в икре лосося обеспечивают более высокую степень ненасыщенности и удовлетворяют потребность в незаменимых ЖК в большей степени,

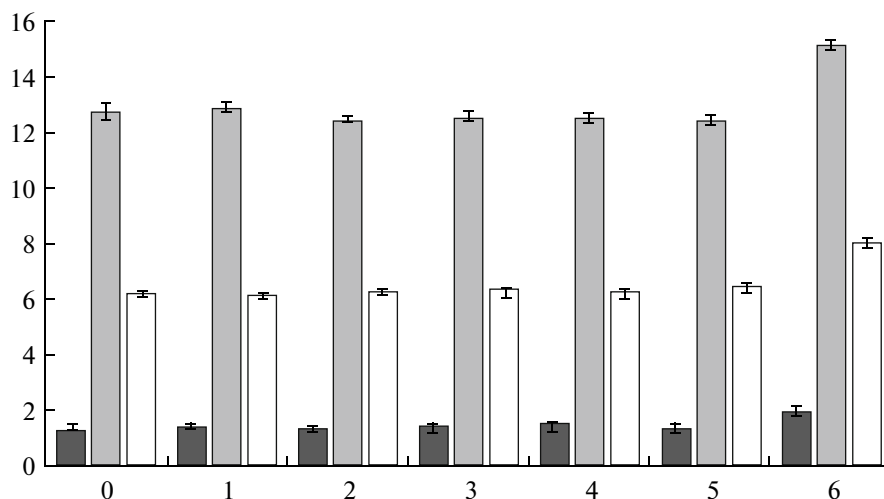


Рис. 2. Динамика содержания отдельных насыщенных жирных кислот (НЖК) – 14:0, 16:0, 18:0 в процессе эмбрионального развития пресноводного лосося *Salmo salar* L. ■ – 14:0, ■ – 16:0, □ – 18:0

чем ПНЖК семейств (n-6) и (n-9) (Halver, 1998; Sejas et al., 2004; Villalta et al., 2004). В период эмбриогенеза лосося только на стадии пигментации глаз выявлены небольшие, но достоверные вариации как суммы, так и отдельных насыщенных, моноеновых и ПНЖК: уровень суммы моноеновых ЖК повышается (за счет 18:1(n-9), а содержание суммы насыщенных и ПНЖК снижается (последних за счет – (18:3(n-3) и 20:5(n-3) ЖК). При этом, доля насыщенной 18:0 и полиеновых 20:4(n-6) и 22:6(n-3) ЖК увеличивается. Известно, что к стадии пигментации глаз образуется печеночно-желточная система кровообращения и желток используется с более высокой скоростью, чем ранее (James, 1980). Разная направленность изменений уровня жирных кислот обусловлена специфическими процессами интенсификации метаболизма

развивающегося организма на стадии пигментации глаз. Данные изменения могут быть одним из факторов регуляции оптимального уровня вязкости липидной компоненты в зависимости от физиологической потребности развивающегося организма.

Наши результаты согласуются с данными, полученными при исследовании развивающейся икры других видов рыб и земноводных (ручьевая форель, стальноголовый лосось, карп, атлантическая сельдь, жаба, лягушка), в которых также указывается на незначительные вариации уровня жирных кислот общих липидов в процессе эмбриогенеза (Hayes et al., 1973; Atchison, 1975; Болгова и др., 1983; Cowey et al., 1985; Tocher et al., 1985; Tocher, 2003). Малозаметные изменения содержания жирных кислот в развивающейся автономной системе

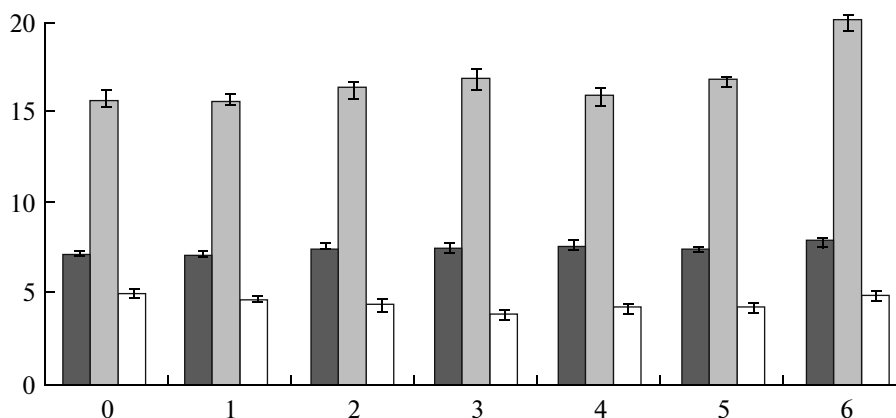


Рис. 3. Динамика содержания отдельных моноеновых жирных кислот (МНЖК) – 16:1(n-7), 18:1(n-9), 18:1(n-7) в процессе эмбрионального развития пресноводного лосося *Salmo salar* L. ■ – 16:1(n-7), ■ – 18:1(n-9), □ – 18:1(n-7).

целой яйцеклетки можно объяснить тем, что масса желтка в ней по сравнению с эмбрионом составляет значительную долю (Юровицкий и др., 1996) и поэтому перераспределение ЖК между желтком и эмбрионом может отчетливо и не проследиваться.

В период перед вылуплением и частичным выходом зародыша из оболочки вся система развивающегося яйца лосося перестраивает свой липидный (Мурзина и др., 2009) и жирнокислотный спектр. Установлены достоверные ($p < 0.05$) изменения в соотношении большинства жирных кислот по сравнению с их уровнем в зрелой икре лосося перед оплодотворением и в процессе эмбрионального развития. Изменения связаны с повышением содержания суммы насыщенных (за счет 14:0, 16:0 и 18:0 ЖК), моноеновых (за счет 16:1(n-7); 18:1(n-9) ЖК) и снижением суммы ПНЖК, в том числе (n-6) и (n-3) семейств (за счет 18:2(n-6), 20:4(n-6), 18:3(n-3), 20:4(n-3), 20:5(n-3) и 22:6(n-3) ЖК).

Увеличение содержания насыщенных жирных кислот перед вылуплением отмечено у атлантической сельди (*Clupea harengus* L.) (Tocher, 2003). Ранее было показано, что доля пальмитиновой 16:0 ЖК заметно снижается в желтке и увеличивается (в 2 раза) в теле 4 – суточной личинки лосося по сравнению с ее содержанием на стадии дробления (Нефедова, 1989). Исследования, проведенные на стальноголовом лососе (*Salmo gairdneri*) также показали значительное увеличение содержания 16:0 ЖК в липидах у 4-суточных личинок после вылупления по сравнению с их уровнем на начальных стадиях эмбриогенеза (Takama et al., 1969; Hayes et al., 1974; Gershanovich, 1991). Подъем уровня 16:0 ЖК перед вылуплением и после него авторы объясняют ростом активности синтетазной системы ферментов, специфичной в отношении этой кислоты. Наибольшее увеличение 16:0 ЖК было установлено и в процессе голодания личинок форели (*Salvelinus fontinalis*), что указывает на ее интенсивный синтез в критические периоды жизни рыбы (Atchison, 1975). Пальмитиновой 16:0 ЖК принадлежит ключевая роль в метаболизме насыщенных жирных кислот у рыб, значительная ее часть элонгируется и десатурируется до более длинноцепочечных жирных кислот, которые в большей степени используются для биосинтеза фосфолипидов (Крепс, 1981). В процессе эмбриогенеза лосося *Salmo salar* наблюдается сохранение, а к вылуплению предличинки повышение содержания как суммарных, так и отдельных насыщенных (14:0, 16:0 и 18:0 ЖК) и моноеновых (16:1(n-7); 18:1(n-9) ЖК), что указывает на их наибольшее функциональное значение после выклева (рис. 2, рис. 3). Что касается ПНЖК, то в течение эмбрионального развития и до момента вылупления лосося уровень их достоверно не изменяется. Наиболее выраженные изменения при вылуплении предличинки лосося отмечены для полиеновых ЖК (n-6)

семейства – арахидоновой 20:4(n-6)ЖК и ее метаболитического предшественника – линолевой 18:2(n-6) ЖК, содержание которых уменьшается в 4.1 и 1.9–2.2 раза, соответственно, по сравнению с их уровнем в икре перед оплодотворением и в процессе эмбриогенеза (рис. 4). Известно, что линолевая 18:2(n-6) кислота относится к группе незаменимых ЖК, в организме животных, в том числе рыб, она не синтезируется, а поступает с пищей, в основном растительного происхождения (Правдина, 1975; Lehninger et al., 1993; Сушик, 2008). Биосинтез арахидоновой 20:4(n-6) ЖК из алиментарного предшественника 18:2(n-6) кислоты в реакциях элонгации и десатурации является основным путем обеспечения организма этой ЖК (Крутецкая, Лебедев, 1993; Tocher, 2003). При окислительном метаболизме арахидоновой кислоты образуются физиологически активные эндогормоны (простагландины, лейкотриены, тромбоксаны), регулирующие в организме процессы роста, иммунитета и др. (Сергеева, Варфоломеева, 2006). Этим, очевидно, и можно объяснить значительное снижение уровня 20:4(n-6) кислоты при вылуплении предличинки лосося. Уменьшение содержания линоленовой 18:3(n-3) кислоты, имеющей также алиментарное происхождение, было отмечено на стадии дробления и особенно при вылуплении предличинки (рис. 5). Таким образом, в период вылупления предличинки лосося отмечается снижение доли всех полиеновых жирных кислот (особенно незаменимых – 18:2(n-6), 18:3(n-3) и их производных – 20:4(n-6), 20:4(n-3), 20:5(n-3), 22:6(n-3), что свидетельствует о повышенной потребности в них, связанной с активизацией метаболизма и отсутствием поступления извне (рис. 4, рис. 5). Выявленное снижение содержания как суммарных, так и отдельных ПНЖК в период вылупления предличинки коррелирует с уменьшением уровня фосфатидилхолина (ФХ) и повышением лизофосфатидилхолина (ЛФХ) (Мурзина и др., 2009). Также было показано, что в процессе эмбриогенеза палтуса (*Hippoglossus hippoglossus* L.) и камбалы (*Solea senegalensis*) сохраняются 22:6(n-3) и 20:4(n-6) ЖК, соответственно (Ronnestad et al., 1995; Tocher, 2003). Имеются сведения о том, что после вылупления предличинки палтуса в результате гидролиза ФХ значительная часть (около 40.0%) 22:6(n-3) ЖК расходуется в качестве энергетического источника, остальная – на синтез фосфатидилэтаноламина (ФЭА) и нейтральных липидов (38.0 и 22.0%, соответственно) (Ronnestad et al., 1995). Показано, что моноеновые и 22:6(n-3) ЖК преимущественно расходуются на ранних стадиях эмбрионального развития и у только что вылупившейся личинки камбалы (Rainuzzo, 1993). В течение всего периода эмбрионального развития яиц двух видов трески *Maccullochella macquariensis* и *Maccullochella peelii peelii* отмечается тенденция к сохранению ПНЖК семейства (n-3) и 20:4(n-6)

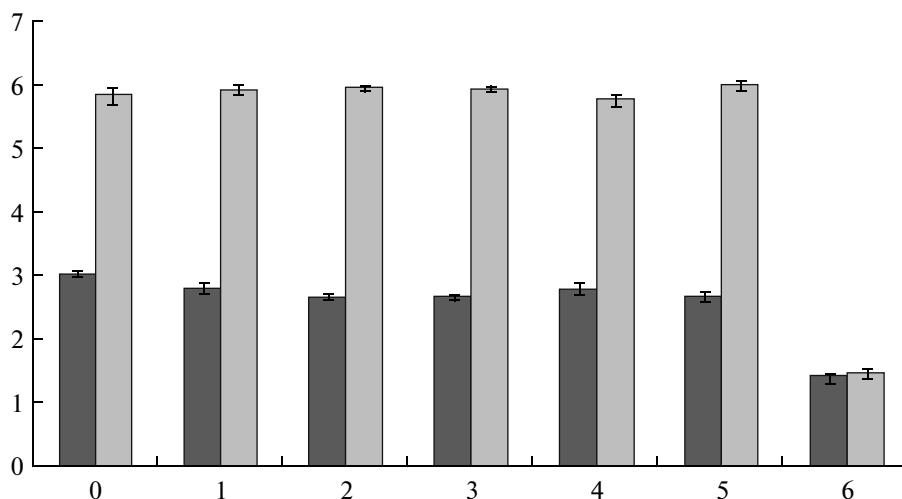


Рис. 4. Динамика содержания отдельных (n-6) полиеновых жирных кислот (ПНЖК) – 18:2(n-6), 20:4(n-6) в процессе эмбрионального развития пресноводного лосося *Salmo salar* L.

■ – 18:2(n-6), □ – 20:4(n-6).

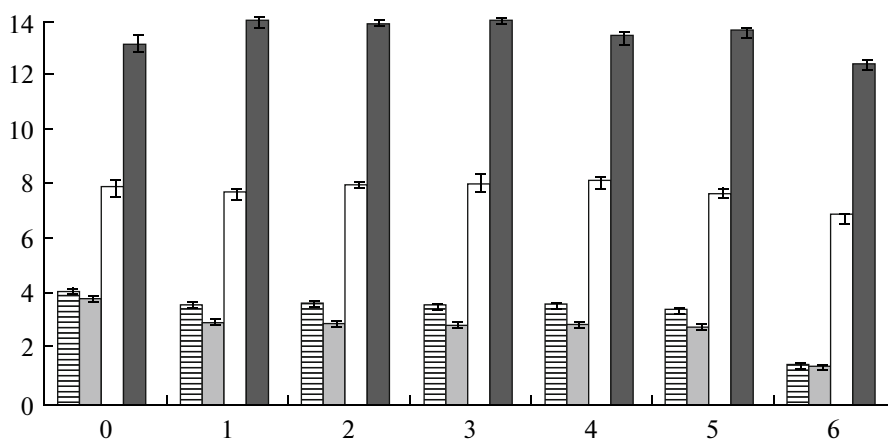


Рис. 5. Динамика содержания отдельных (n-3) полиеновых жирных кислот (ПНЖК) – 18:3(n-3), 20:4(n-3), 20:5(n-3), 22:6(n-3) в процессе эмбрионального развития пресноводного лосося *Salmo salar* L.

▨ – 18:3(n-3), ■ – 20:4(n-3), □ – 20:5(n-3), ■ – 22:6(n-3).

кислоты (Gershanovich, 1991). Однако в процессе развития икры и у только что вылупившихся личинок леща (*Diplodus sargus*) установлено снижение полиеновых 20:5(n-3) и 22:6(n-3) ЖК в общих липидах (Sejas et al., 2004). Уменьшение доли этих кислот авторы связывают с использованием их в качестве источников энергии. Рыбы не могут сами синтезировать ПНЖК из ацетата и поэтому должны получать их с кормом.

Утилизация тех или иных жирных кислот в процессе эмбриогенеза и раннего личиночного развития значительно варьирует у разных видов рыб и зависит от типа яиц, продолжительности и условий их развития: у лосося (*Salmo salar*), палтуса (*Hippoglossus hippoglossus*), трески (*Maccullochella*

macquariensis, *Maccullochella peelii peelii*) и других видов липиды и их жирные кислоты используются как источники энергии преимущественно после вылупления; у щуки (*Esox lucius*), морского окуня (*Morone saxatilis*), атлантической сельди (*Clupea harengus*), леща (*Diplodus sargus*) и др. – как в процессе эмбриогенеза, так и личиночного развития.

При вылуплении предличинок лосося наиболее активно реализуется механизм регуляции жирнокислотных спектров липидов, направленный на уменьшение их ненасыщенности. Модификация спектров ЖК липидов в период вылупления предличинок обусловлена снижением в наибольшей степени уровня ПНЖК семейства (n-6) – 18:2(n-6) и 20:4(n-6), а также семейства (n-3) – 18:3(n-3),

20:4(n-3), 20:5(n-3), и 22:6(n-3). В результате таких изменений показатель отношения суммы (n-6) ПНЖК к сумме (n-3) ПНЖК уменьшается более чем в 2 раза (до 0.14) по сравнению с предыдущими этапами – перед нерестом и в процессе эмбриогенеза лосося (0.30–0.32). Уровень насыщенных (14:0, 16:0, 18:0) и моноеновых (16:1(n-7), 18:1(n-9)) ЖК в период вылупления предличинки повышается.

Таким образом, в процессе эмбрионального развития пресноводного лосося *Salmo salar* L. не выявлено достоверных изменений (за исключением стадии пигментации глаз) в содержании как суммарных, так и отдельных насыщенных, моноеновых и полиеновых жирных кислот общих липидов. В период вылупления предличинки установлено снижение содержания почти всех ПНЖК и повышение – насыщенных и моноеновых ЖК. ПНЖК важны для организма в период вылупления, поскольку они, с одной стороны модифицируют физические свойства биомембран, адаптируя их к изменению внешних условий, а с другой – посредством своих окисленных производных регулируют многие клеточные и тканевые физиологические процессы.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты № 11-04-00167-а, 08-04-01691-а), Программой Президента РФ “Ведущие научные школы” (проект НШ – 3731.2010.4), Программой Президента РФ “Поддержка молодых российских ученых” (проект НШ – 666. 2011. 4)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Болгова О.М., Рунатти П.О., Сидоров В.С. Жирнокислотный спектр лосося *Salmo salar* на эмбрионально-личиночном этапе развития // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 1985. Т. 21. № 2. С. 122–125.
- Болгова О.М., Богдан В.В., Рунатти П.О. Влияние температурного фактора на жирнокислотный состав рыб. Сравнительная биохимия водных животных. 1983. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР. С. 52–61.
- Кейтс М. Техника липидологии. М.: Мир, 1975, 322 с.
- Крепс Е.М. Липиды клеточных мембран. Эволюция липидов мозга. Адаптационная функция липидов / Е.М. Крепс. Л.: Наука, 1981. 339 с.
- Крутецкая З.И., Лебедев О.Е. Арахидоновая кислота и ее продукты: пути образования и метаболизма в клетках // Цитология. 1993. Т. 35. № 11/12. С. 3–27.
- Мурзина С.А., Нефедова З.А., Руоколойнен Т.Р., Васильева О.Б., Немова Н.Н. Динамика содержания липидов в процессе раннего развития пресноводного лосося *Salmo salar* L. // Онтогенез. 2009. Т. 40. № 3. С. 208–214.
- Нефедова З.А. Липидный статус лосося на ранних этапах онтогенеза: Автореф. дис. канд. биол. наук. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1989. 16 с.
- Новак И. Количественный анализ методом газовой хроматографии. М.: Мир, 1978. 180 с.
- Правдина Н.И. Значение жирнокислотных радикалов в структурной гетерогенности и метаболизме фосфолипидов // Успехи современной биологии. 1975. Т. 79. Вып. 2. 205–224.
- Рыжков Л.П., Крупень И.М. Пресноводный лосось Онежского озера. Петрозаводск: ПетрГУ, 2004. 152 с.
- Сергеева М.Г., Варфоломеева А.Т. Каскад арахидоновой кислоты. М.: Народное образование, 2006. 256 с.
- Сушик Н.Н. Роль незаменимых жирных кислот в трофометаболических взаимодействиях в пресноводных экосистемах (обзор) // Журнал общей биологии. 2008. Т. 69. № 4. С. 299–316.
- Цыганов Э.П. Метод прямого метилирования липидов после ТСХ без элюирования с силикагеля // Лабор. Дело. 1971. № 6. С. 490–493.
- Юровицкий Ю.Г. Отношения зародыша и желтка в развитии костистых рыб // Онтогенез. 1999. Т. 30. № 3. С. 205–209.
- Ando K. Change in fatty acids composition of acetone soluble lipids during development of rainbow trout eggs // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 1962. V. 28. P. 34–343.
- Atchison G.J. Fatty acid levels in developing brook trout (*Salvelinus fontinalis*) eggs and fry // J. Fish. Res. Board Can. 1975. V. 32. № 12. P. 2513–2515.
- Cejas J.R., Alansa 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. and Physiol. Part B: Biochem. and Molec. Biology. 2004. № 2. P. 209–216.
- Cowey C.B., Bell J.G., Knox D., Frazer A., Youngson A. Lipids and lipid antioxidant systems in developing eggs of salmon (*Salmo salar*) // Lipids. 1985. V. 20. № 9. P. 567–572.
- Folch J., Lees M., Sloan-Syanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue (for brain, liver and muscle) // J. Biol. Chem. 1957. V. 226. P. 497–509.
- Gershanovich A.D. Lipid mobilization during early development of turgeons. P. 41–52. In: Proc. First International Symposium Sturgeon. Bordeaux (Gironde, France), Oct. 1989. (1991).
- Hayes L.W., Tinsley T.J., Lowry R.R. Utilization of fatty acids by the developing steelhead sac-fry, *Salmo gairdneri* // Comp. Biochem. And Physiol. 1973. V. 45. № 3. P. 695–707.
- Lehninger A.L., Nelson D.L., Cox M.M. Principles of biochemistry. N.Y.: Worth Publishers. 1993. 1010 p.
- Rainuzzo J.R. Fatty acid and lipid composition of fish egg and larvae. P. 43–49. In: Fish Farming Technology. Proceedings of the First International Conference on Fish Farming Technology, Trondheim, Norway, 9–12 August 1993. Rotterdam (Netherlands): Balkema (1993).
- Takama K., Zama K., Igarashi H. Changes in the lipids during development of salmon eggs // Bull. Fac. Fish. Hokkaido univ. 1969. V. 20. P. 118–126.

Tocher D.R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in Teleost fish // Reviews in Fisheries Science. 2003. V. 12. № 2. P. 107–182.

Tocher D.R., Frazer A.J., Sargent J.R., Gamble J.C. Fatty acid composition of phospholipids and neutral lipids during embryonic and early larval development in Atlantic herring (*Clupea harengus*) // Lipids. 1985. V. 20. № 2. P. 69–74.

Сокращенные обозначения жирных кислот (ЖК): 14:0 – миристиновая, 16:0 – пальмитиновая, 16:1 n-7 – пальмитоолеиновая, 18:0 – стеариновая, 18:1 n-9 – олеиновая, 18:2 n-6 – линолевая, 18:3 n-3 – линоленовая, 20:4 n-6 – арахидоновая, 20:5 n-3 – эйкозапентаеновая, 22:6 n-3 – докозагексаеновая.

Dynamics of Fatty Acid Composition of Total Lipids during Embryonic Development of Atlantic Salmon *Salmo salar* L.

S. A. Murzina, Z. A. Nefedova, P. O. Ripatti, N. N. Nemova, and L. V. Markova

Institute of Biology, Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, 185910 Russia

e-mail: imagination@onego.ru

Abstract—Dynamics of fatty acid composition of total lipids was studied for freshwater salmon *Salmo salar* L. during its embryonic development from blastula (3 hours) up to hatching (108 days) as well as in unfertilized eggs. Stable amount of total and some saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids (PUFA) of total lipids was observed during embryonic development. Considerable changes in fatty acid composition were observed at the stage of prelarvae hatching, i.e., significant decrease of (n-6) PUFA (18:2(n-6) and 20:4(n-6)) and (n-3) PUFA and increase of total and some saturated and monounsaturated fatty acids was registered. Change in saturation ratio of membrane lipids justifies the presence of the biochemical mechanism forwarded on regulation of cell membrane enzymes in accordance with the changes of internal physiological processes taking place in the organism and fluctuations of external environmental conditions or the preparation period (as reproduction). Data on peculiarities of transformation and utilization of fatty acids during salmon embryonic development may be used for understanding of their functional role in the developing organism as well as for assessing the quality of the caviar.

Keywords: freshwater salmon, embryonic development, lipids, fatty acids.

Сдано в набор 07.11.2011 г.	Подписано к печати 07.02.2012 г.	Формат 60 × 88 ¹ / ₈
Цифровая печать	Усл. печ. л. 10.0	Уч.-изд. л. 10.1
	Тираж 95 экз.	Бум. л. 5.0
		Зак. 2201

Учредители: Российская академия наук,
Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН

Издатель: Российская академия наук. Издательство “Наука”, 117997 Москва, Профсоюзная ул., 90
Оригинал-макет подготовлен МАИК “Наука/Интерпериодика”
Отпечатано в ППП “Типография “Наука”, 121099 Москва, Шубинский пер., 6