

ВЛИЯНИЕ ВИТАМИНА С НА ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ПЕЧЕНИ И МЫШЦ ДВУХЛЕТОК СИГОВЫХ РЫБ (*COREGONIDAE*), ВЫРАЩИВАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ АКВАКУЛЬТУРЫ

© 2020 г. И. Н. Остроумова, В. В. Костюничев, А. А. Лютиков,
А. К. Шумилина, Т. А. Филатова

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

Поступила в редакцию 22.06.2020 г.

Двухлеток сиговых рыб (чир *Coregonus nasus*) выращивали в садках на экспериментальных кормах. Спустя 55 сут. (срок годности кормов — два месяца) корма стали опрыскивать раствором витамина С, что увеличило содержание витамина в печени и мышцах рыб и сохранило высокий уровень Омега-3 кислот в этих тканях. Во всех садках рыба росла с одинаковой скоростью при нормальных показателях крови. У рыб, не получавших добавку витамина С, содержание полиненасыщенных жирных кислот в мышцах было пониженным, особенно докозагексаеновой — 15,9 против 21,8%, а количество мононенасыщенной олеиновой — повышено — 34,5 против 26,7%. В печени жирнокислотный состав был сходным у всех рыб. Видимо накопленные в мышцах эссенциальные жирные кислоты являются резервом для печени и других органов с высокой потребностью в Омега-3 кислотах.

Ключевые слова: Двухлетки чира (*Coregonus nasus*), корма, заменители рыбной муки, опрыскивание кормов витамином С, рост, гематологические показатели, полиненасыщенные жирные кислоты, докозагексаеновая кислота, печень, мышцы.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время уделяется пристальное внимание вопросам жирнокислотного состава промысловых и выращиваемых рыб. Это связано с тем, что полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) являются незаменимым фактором питания человека, а основным источником их служит рыба. Позвоночные и беспозвоночные животные не способны синтезировать короткоцепочные родительские формы ПНЖК Омега-3 (линоленовая 18:3n3) и Омега-6 (линолевая 18:2n6) и должны получать их с пищей. Длинноцепочные их производные — докозагексаеновая (22:6n3), эйкозапентаеновая (20:5n3), арахидоновая (20:4n6), если и синтезируются у рыб из родительских форм, то чаще всего в недостаточном коли-

честве. Вместе с тем, именно эти длинноцепочные кислоты необходимы для нормального функционирования сердечно-сосудистой и нервной системы человека, для работы сердца, головного мозга, органов зрения (Гладышев, 2012).

Рыба получает эссенциальные жирные кислоты по трофическим путям. Наиболее эффективный синтез этих веществ осуществляют лишь некоторые группы микроводорослей (Сущик, 2008), откуда через кормовые объекты они поступают в организм рыб. Поэтому уровень и соотношение незаменимых жирных кислот в тканях и органах рыб прежде всего зависит от их питания. В природе — от сезонных изменений кормовой базы, типа питания рыб — хищники, планктобентофаги, от степени трофности

водоема — наибольшее накопление ПНЖК характерно для рыб мезотрофных водоемов (Рудченко, 2018).

Существенные изменения в структуре липидов в негативную сторону у рыб происходят и под влиянием загрязнения водоемов токсическими веществами. Так, по данным Ю.Н. Лукиной (2014) в печени сиговых рыб, обитающих в условиях доминирования нефтяного загрязнения в верховье и низовье р. Печора, содержание незаменимых ПНЖК было понижено, а уровень моноеновых кислот — повышен по сравнению с рыбами из контрольного экологически благополучного водотока. Снижение ПНЖК происходило преимущественно за счет незаменимых докозагексаеновой и арахидоновой кислот и сопровождалось активизацией перекисного окисления липидов, о чем свидетельствовало увеличение первичных и вторичных продуктов перекисного окисления — диеновых конъюгатов (гидроперекисей) и малонового диальдегида.

В аквакультуре соотношение жирных кислот в тканях выращиваемых рыб прежде всего зависит от состава искусственных кормов. Основным источником ПНЖК в кормах служит рыбий жир, растущий дефицит которого вызывает необходимость активного поиска его заменителей. Замена рыбьего жира на растительные масла, которые вообще не содержат длинноцепочных эссенциальных жирных кислот, приводит к снижению ПНЖК в тканях рыб, в том числе и таких важных для здоровья человека как докозагексаеновая, эйкозапентаеновая и арахидоновая. При этом перестройка в составе жирных кислот часто даже не сопровождается снижением интенсивности роста и выживаемости выращиваемых рыб (Turchini et al., 2009; Tocher, 2015; Karalazos, 2017). А именно по этим показателям обычно оценивается возможность замены традиционных ингредиентов в составе искусственных кормов.

В предыдущих исследованиях (Остроумова и др., 2018) мы обратили внимание на то, что корма с просроченным сроком хра-

нения негативно влияют на структуру и жирнокислотный состав липидов печени выращиваемых сеголеток сиговых. Существенно снизилось содержание фосфолипидов и докозагексаеновой кислоты, что привело к увеличению количества мононенасыщенной олеиновой кислоты (18:1n9) за счет снижения насыщенной пальмитиновой кислоты (16:0). Эти изменения у сеголеток, получавших длительно хранящиеся корма, происходили до ухудшения рыбоводно-биологических показателей и состояния крови.

Таким образом, существенные изменения в содержании и соотношении жирных кислот служили первым признаком нарушения обмена в организме рыб. Поскольку исследование было проведено на печени, состояние которой является критерием качества применяемых кормов (Larval fish ..., 2011), было высказано предположение, что просроченные корма при выращивании рыб старшего возраста еще до нарушения рыбоводно-биологических и некоторых физиологических параметров могут понизить качество рыбной продукции из-за потери в мышцах товарной рыбы важнейших элементов, необходимых для здоровья человека.

В настоящей статье сообщаются результаты определения содержания жирных кислот в печени и мышцах и состояния красной и белой крови у двухлеток сиговых, получающих экспериментальные корма с предельным сроком хранения при опрыскивании их раствором витамина С, известного своей антиоксидантной активностью и быстрым разрушением в составе кормов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работу проводили на базе ООО «Форват» Ленинградской области в 2019 г. в процессе экспериментов по разработке кормов с заменителями рыбной муки и рыбьего жира для двухлеток сиговых. В опытах использовали двухлеток чира (*Coregonus nasus*) при содержании их в садках, установленных в оз. Суходольское (Вуоксинская озеро-речная система). До опытов рыба

выращивалась в производственных условиях на импортных кормах.

В состав экспериментальных кормов входили рыбная и мясная мука, дрожжи гидролизные, шроты соевые, рыбий жир, премиксы витаминов и минеральных веществ, физиологически активные добавки. В контрольном варианте (корм № 14) рыбная мука составляла 40%, рыбий жир — 14%. В качестве частичных заменителей рыбной муки (от четверти до половины муки) испытывали белковые концентраты с использованием соевых компонентов и мясной птичьей муки — корма № № 15, 16, 17, 18. В корме № 19 четверть рыбьего жира заменили льняным маслом. Корма по нашим рецептам были изготовлены методом экструзии в Отделе кормов и кормовых компонентов ВНИРО.

Для проведения испытаний двухлетки чира средней массой 64,7 г были рассажены 14 августа 2019 г. по 160 экз. в семь экспериментальных садков размером 2,0×2,0×2,5 м. В двух садках рыба получала одинаковый (корм № 14), в остальных пяти — разные по составу корма. Температура воды в день посадки была 17,7°C, к концу опыта — снизилась до 7,7°C, в среднем составила 14,4°C. Уход и кормление рыб осуществляли по рекомендациям, разработанным ГосНИОРХ (Сборник методических рекомендаций ..., 2012).

Спустя 55 сут. (срок годности кормов определяется двумя месяцами) корма перед раздачей рыбе стали опрыскивать раствором витамина С из расчета 1 г/кг корма (Князева, 1979). Для изучения действия добавки витамина на рыб в одном садке корм продолжали давать без орошения (№ 14–1), в другом — тот же корм (№ 14), но с добавкой витамина. И в остальных садках рыба получала корма № № 15–19 с опрыскиванием раствором витамина С. Кормление с добавлением витамина С проходило в течении 10 сут., т.е. общая продолжительность опыта составила 65 сут.

В процессе выращивания периодически проводили контрольные обловы и взвешивание рыб для контроля за ростом и для

корректировки суточных норм кормления. При завершении опыта обловили и взвесили всю рыбу и собрали пробы для анализов.

Качество кормов по степени окисления и гидролиза липидов определяли по методикам, представленным в работе Картавцевой и др. (1987). Определение состояния красной крови, лейкоцитарной формулы, витамина С у рыб проводили по общепринятым методам, описанным в опубликованной ранее статье (Остроумова и др., 2016).

Анализы жирнокислотного состава мышц и печени выполнены по заказу ГосНИОРХ в ООО «АМТ» (Аналитика, материалы, технология) методом газожидкостной хроматографии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 приводятся результаты исследования качества липидов в кормах по степени окисления и гидролиза. Анализ проводили через месяц после изготовления кормов и начала опытов. Как видим, уровень гидроперекисей к этому времени несколько превысил рекомендуемые нормы. Остальные показатели соответствовали предельно допустимому содержанию в кормах рыб.

Интенсивность роста и результаты определения показателей крови двухлеток чира

Десятидневное опрыскивание кормов витамином С практически не отразилось на скорости роста рыб, получавших одинаковый по составу корм без опрыскивания витамином С корм № 14–1 и с опрыскиванием — корм № 14 (табл. 2). На разных по составу кормах интенсивность роста двухлеток чира была также примерно одинаковой на всем протяжении эксперимента (табл. 2). Различия в конечной массе — недостоверны. В самом конце на корме № 18 отмечена тенденция к некоторому снижению роста — на 10%. Конечная масса — 152 г, в контроле — 169 г. В состав корма № 18 входило 20% растительного ингредиента (высокобелкового соевого компонента), заменившего половину

Таблица 1. Качество экспериментальных кормов по степени окисления и гидролиза липидов

| № корма | Показатели окисления и гидролиза липидов | | |
|---|--|-----------|---------------------------|
| | Перекисное число, % J ₂ | | Кислотное число, мг КОН/г |
| | гидроперекиси | пероксиды | |
| № 14 | 0,21 | 0,28 | 7,9 |
| № 15 | 0,24 | 0,38 | 10,3 |
| № 16 | 0,25 | 0,32 | 9,0 |
| № 17 | 0,31 | 0,39 | 14,2 |
| № 18 | 0,30 | 0,38 | 13,0 |
| № 19 | 0,37 | 0,45 | 11,5 |
| Предельно допустимое содержание в кормах* | 0,2 | 0,6 | 50 |

Примечание. *По данным: Картавцева и др., 1987.

Таблица 2. Рост двухлеток чира по результатам контрольных обловов

| № корма | Индивидуальная масса рыбы, г | | | | | Суточный прирост, % | Кормовой коэффициент |
|---------|------------------------------|---------|----------|--------|---------------------------|---------------------|----------------------|
| | 14 авг. | 21 авг. | 18 сент. | 4 окт. | 18 окт. Конечная масса | | |
| № 14–1 | 64,7 | 82 | 108 | 147 | 162,4±4,5 | 1,4 | 0,9 |
| № 14 | | 80 | 108 | 147 | 169,0±6,5 | 1,5 | 0,8 |
| № 15 | | 84 | 110 | 145 | 166,9±4,9 | 1,5 | 1,0 |
| № 16 | | 80 | 105 | 145 | 165,7±4,5 | 1,5 | 1,0 |
| № 17 | | 79 | 109 | 148 | 163,5±5,9 | 1,4 | 1,2 |
| № 18 | | 80 | 110 | 148 | 152,1±6,1 | 1,3 | 1,3 |
| № 19 | | 86 | 117 | 150 | 158,5±4,7 | 1,4 | 1,3 |

рыбной муки. Возможно некоторое замедление роста в октябре на этом корме в большей степени, чем на других кормах, связано с падением температуры воды, что отразилось на усвоении углеводов и использовании их в энергетическом обмене рыб (Остроумова, 1988). Шестого октября температура воды в опытах опустилась ниже 10°С (9,5°) и последние 11 дней опыта продолжала снижаться с 9,5 до 7,7°С.

Результаты исследования крови могут служить оценкой качества применяемых кормов и сигнализировать о появлении патологии, связанной с высокой степенью окисленности липидов, вызывающих анемию и существенные сдвиги лейкоцитарной формулы у рыб. В нашем случае состояние красной и белой крови у рыб, выращиваемых на кормах разного состава, не имело существенных различий (табл. 3). Колебания

Таблица 3. Гематологические показатели двухлеток чира на разных кормах

| № корма | Гемоглобин, г/л | Незрелые эритроциты, % | Количество лейкоцитов на 500 эритроцитов (абс.) | Лимфоциты, % | Полиморфно-ядерные, % | Моноциты, % |
|---------|-----------------|------------------------|---|--------------|-----------------------|-------------|
| № 14–1 | 91±4,5 | 6,4±0,8 | 14,0±1,1 | 97,6±0,37 | 0,35±0,1 | 1,75±0,4 |
| № 14 | 101±2,9 | 5,9±0,5 | 14,2±1,1 | 97,6±0,05 | 0,50±0,1 | 1,85±0,5 |
| № 15 | 91±3,8 | 6,0±0,9 | 11,4±0,6 | 98,3±0,34 | 0,30±0,1 | 1,60±0,3 |
| № 16 | 89±4,4 | 6,3±0,7 | 11,5±1,2 | 98,6±0,42 | 0,10±0,1 | 1,25±0,4 |
| № 17 | 78±3,3 | 3,9±0,3 | 11,9±0,7 | 95,6± 0,97 | 0,25±0,1 | 4,05±0,9 |
| № 18 | 75±3,0 | 5,1±0,5 | 9,4±1,1 | 96,1± 0,66 | 0,95±0,4 | 2,95±0,5 |
| № 19 | 80±3,4 | 4,6±0,8 | 13,0 ±1,0 | 94,6±,1,12 | 1,1±0,3 | 4,20±0,9 |
| Норма | 70–110 | 5–20 | 10–25 | 80–98 | - | - |

Таблица 4. Содержание витамина С в печени и мышцах двухлеток чира

| № корма | Индекс печени, % | Витамин С, мкг/г | |
|---------|------------------|------------------|----------|
| | | В печени | В мышцах |
| № 14–1 | 1,3±0,1 | 71,4 | 19,5 |
| № 14 | 1,3±0,1 | 95,4 | 23,1 |
| № 15 | 1,3±0,1 | 88,9 | 22,5 |
| № 16 | 1,4±0,1 | 88,2 | 21,5 |
| № 17 | 1,4±0,1 | 78,3 | 22,3 |
| № 18 | 1,2±0,1 | 95,6 | 21,5 |
| № 19 | 1,3±0,1 | 77,8 | 23,2 |
| Норма | 1,1–1,5 | 60–120 | 20–100 |

показателей укладывались в норму. Следует отметить, что здесь и в таблице 4 приводятся предварительные нормы. Они находятся в стадии разработки.

Содержание витамина С в печени и мышцах двухлеток чира

Несмотря на кратковременное (десять дней) опрыскивание кормов витамином

С оно отразилось на содержании витамина в печени и мышцах. У рыб на корме № 14–1 (без опрыскивания) содержание витамина было заметно ниже (табл. 4), чем на корме того же состава, но подвергнутого орошению раствором витамина (корм № 14). Практически во всех других вариантах на кормах разного состава содержание витамина колебалось в пределах, близких к его содержанию у рыб на корме № 14, т.е. соответствовало принятой норме витамина С в печени товарных сигов — 60–120 мкг/г. В мышцах у рыб, получавших добавку витамина С его содержание тоже выросло, достигнув нижнего предела нормы.

Жирнокислотный состав липидов печени и мышц двухлеток чира

Жирнокислотный состав печени двухлеток чира, получавших один и тот же корм, без опрыскивания витамином С (№ 14–1) и с опрыскиванием (№ 14) практически не изменился под влиянием десятидневной добавки витамина С (табл. 5). Это видно как по сумме насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, так и по содержанию основных представителей этих групп кислот — пальмитиновой (16:0), олеиновой (18:1n9), а также линолевой (18:2n6), линоленовой (18:3n3) и их производных — арахидоновой (20:4n6), эйкозапентаеновой (20:5n3) и докозагексаеновой (22:6n3).

Практически не изменилась структура липидов печени и у рыб, получавших другие варианты кормов, кроме корма № 16. У рыб на этом корме почти в два раза было ниже содержание полиненасыщенных кислот, в том числе Омега-3, и выше содержание мононенасыщенных. Причем существенно ниже, чем в печени рыб на других вариантах кормов, оказалось содержание основных незаменимых длинноцепочных кислот. Так, количество докозагексаеновой кислоты (22:6n3) у рыб на корме № 16 было почти в два раза, эйкозапентаеновой (20:5n3) в 2,6–3 раза, арахидоновой (20:4n6) — в полтора раза ниже, чем

в печени чира на других кормах. Снижение ПНЖК сопровождалось резким повышением содержания моноеновой олеиновой кислоты (18:1n9) до 44,93% против 22,71–29,96% у чира на других кормах, и понижением уровня насыщенной пальмитиновой кислоты (16:0). Такая картина жирнокислотного состава у чира на корме № 16 сходна с той, которую мы наблюдали в печени сеголеток сиговых рыб, получавших корма с истекшим сроком хранения (Остроумова и др., 2018). Корм № 16 отличался от других кормов содержанием компонента, в состав которого помимо соевых ингредиентов входила птичья (куриная) мука.

В мышцах различия в количестве жирных кислот были более значительны (табл. 6). Они обнаружены не только у рыб на корме № 16, но и у рыб, получавших корм без добавки витамина С (№ 14–1). У этих рыб в мышцах заметно выше был процент мононенасыщенной олеиновой кислоты (18:1n9) — 34,49 против 26,74% у чира, получавшего тот же корм с орошением витамином С. Повышение мононенасыщенных кислот связано обычно с дефицитом Омега-3 кислот. И действительно, у рыб, не получавших добавку витамина С уровень докозагексаеновой и эйкозапентаеновой кислот в мышцах был ниже, чем на этом же корме, но с добавлением витамина. И на остальных кормах, кроме корма № 16, добавление витамина С способствовало повышению уровня эссенциальных жирных кислот в мышцах рыб. То есть даже десятидневное добавление витамина С в количестве 1 г/кг корма оказало благотворное влияние на содержание незаменимых жирных кислот в мышцах рыб, потреблявших корма, снижение качества которых не зашло слишком далеко как у корма № 16.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение в составе жирных кислот у сеголеток, получавших длительно хранящиеся корма (Остроумова и др., 2018) и у двухлеток сиговых на кормах с предель-

ВЛИЯНИЕ ВИТАМИНА С НА ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ПЕЧЕНИ И МЫШЦ

Таблица 5. Жирнокислотный состав печени двухлеток чира на разных кормах, в % от суммы

| Жирные кислоты | №14–1 | №14 | №16 | №18 | №19 |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 14:0 | 0,72 | 0,65 | 0,91 | 0,61 | 0,65 |
| 15:0 | 0,10 | 0,09 | 0,05 | 0,13 | 0,11 |
| 16:0 | 16,52 | 16,72 | 12,73 | 16,00 | 14,32 |
| 17:0 | 0,06 | 0,07 | 0,04 | 0,11 | 0,07 |
| 18:0 | 2,72 | 2,78 | 3,75 | 3,19 | 3,02 |
| 20:0 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,09 |
| 21:0 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| 22:0 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,05 |
| 24:0 | - | - | 0,01 | 0,02 | - |
| Сумма насыщенных | 20,33 | 20,47 | 17,64 | 20,20 | 18,34 |
| 18:1n7 | 2,89 | 2,90 | 3,05 | 2,78 | - |
| 18:1n9 | 25,73 | 25,79 | 44,93 | 22,71 | 29,96 |
| 20:1n7 | 0,45 | 0,42 | 0,26 | 0,35 | 0,75 |
| 20:1n9 | 3,38 | 3,06 | 2,54 | 2,35 | 2,21 |
| 22:1n11 | 1,28 | 0,96 | 0,67 | 0,96 | 0,83 |
| 22:1n9 | 0,58 | 0,45 | 0,30 | 0,42 | 0,44 |
| Сумма мононенасыщенных | 34,31 | 33,58 | 51,75 | 29,57 | 34,19 |
| 18:2n6 | 7,14 | 7,03 | 4,34 | 6,57 | 8,82 |
| 20:2n6 | 1,59 | 1,48 | 1,13 | 1,49 | 1,55 |
| 20:4n6 | 0,91 | 1,00 | 0,66 | 1,08 | 1,00 |
| 22:5n6 | 0,32 | 0,32 | 0,17 | 0,34 | 0,29 |
| 24:2n6 | 0,76 | 0,71 | 0,32 | 0,63 | 0,67 |
| Сумма Омега-6 | 10,72 | 10,54 | 6,62 | 10,11 | 12,33 |
| 18:3n3 | 0,17 | 0,16 | 0,27 | 0,23 | 0,22 |
| 18:4n3 | 0,17 | 0,29 | 0,12 | 0,09 | 0,04 |
| 20:3n3 | 0,56 | 0,63 | 0,43 | 0,56 | 0,99 |
| 20:5n3 | 5,00 | 5,33 | 1,89 | 5,65 | 5,56 |
| 21:5n3 | 0,34 | 0,10 | 0,07 | 0,29 | 0,06 |
| 22:5n3 | 1,17 | 1,00 | 0,52 | 1,28 | 0,99 |
| 22:6n3 | 24,14 | 25,02 | 13,15 | 29,48 | 24,32 |
| Сумма Омега-3 | 31,55 | 32,53 | 16,45 | 37,58 | 32,18 |
| Сумма полиненасыщенных | 42,27 | 43,07 | 23,07 | 47,69 | 44,51 |
| Омега-3/Омега-6 | 2,9 | 3,1 | 2,5 | 3,7 | 2,6 |

Таблица 6. Жирнокислотный состав мышцы двухлеток чира на разных кормах, в % от суммы

| Жирные кислоты | №14–1 | №14 | №16 | №18 | №19 |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 14:0 | 1,56 | 1,66 | 2,44 | 1,63 | 1,46 |
| 15:0 | 0,25 | 0,31 | 0,24 | 0,42 | 0,33 |
| 16:0 | 14,18 | 15,83 | 12,01 | 18,33 | 15,70 |
| 17:0 | 0,12 | 0,13 | 0,20 | 0,14 | 0,18 |
| 18:0 | 2,90 | 3,36 | 2,87 | 3,75 | 3,89 |
| 20:0 | 0,23 | 0,18 | 0,21 | 0,16 | 0,20 |
| 22:0 | 0,10 | 0,07 | 0,13 | - | 0,07 |
| 24:0 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | - | - |
| Сумма насыщенных | 19,38 | 21,58 | 18,15 | 24,43 | 21,83 |
| 16:1n7 | 2,64 | 2,36 | 3,58 | 2,06 | 1,85 |
| 18:1n7 | 3,22 | 3,34 | 4,51 | 2,81 | 9,09 |
| 18:1n9 | 34,49 | 26,74 | 35,58 | 20,72 | 22,18 |
| 20:1n7 | 0,51 | 0,44 | 0,56 | 0,33 | 0,56 |
| 20:1n9 | 3,36 | 3,08 | 4,52 | 2,28 | 2,57 |
| 22:1n11 | 1,93 | 2,01 | 3,37 | 1,34 | 1,59 |
| 22:1n9 | 0,53 | 0,53 | 0,52 | 0,57 | 0,47 |
| Сумма мононенасыщенных | 46,68 | 38,50 | 52,64 | 30,11 | 38,31 |
| 18:2n6 | 10,32 | 9,57 | 12,96 | 8,65 | 10,49 |
| 20:2n6 | 1,17 | 1,43 | 1,90 | 1,24 | 1,14 |
| 20:4n6 | 0,33 | 0,28 | 0,23 | 0,38 | 0,29 |
| 22:5n6 | 0,21 | 0,29 | 0,14 | 0,39 | 0,28 |
| 24:2n6 | 0,43 | 0,36 | 0,49 | 0,25 | 0,31 |
| Сумма Омега-6 | 12,46 | 11,93 | 15,72 | 10,91 | 12,51 |
| 18:3n3 | 0,33 | 0,24 | 0,33 | 0,20 | 0,24 |
| 18:2n3 | 0,93 | 0,84 | 1,26 | 0,78 | 1,17 |
| 18:4n3 | 0,04 | - | 0,03 | - | - |
| 20:3n3 | 0,61 | 0,66 | 0,73 | 0,78 | 0,81 |
| 20:5n3 | 2,65 | 3,12 | 2,28 | 3,77 | 2,93 |
| 22:5n3 | 0,95 | 1,31 | 0,81 | 1,45 | 0,93 |
| 22:6n3 | 15,87 | 21,82 | 8,00 | 27,57 | 21,16 |
| Сумма Омега-3 | 21,38 | 27,99 | 13,44 | 34,55 | 27,24 |
| Сумма полиненасыщенных | 33,84 | 39,92 | 29,16 | 45,46 | 39,75 |
| Омега-3/Омега-6 | 1,7 | 2,3 | 0,9 | 3,2 | 2,2 |

ным сроком хранения, сходны с изменениями, отмеченными Ю.Н. Лукиной (2014) у рыб из водоемов с высокой степенью загрязнения и являются следствием истощения антиоксидантной системы и признаком начавшегося окислительного стресса у рыб.

Снижение ПНЖК в тканях рыб сопровождается адаптивным процессом — увеличением мононенасыщенных жирных кислот, которые рыбы способны синтезировать с использованием насыщенных кислот для поддержания текучести жира и проницаемости мембран клеток в условиях низких температур водной среды.

Исследование структуры липидов в печени и мышцах у двухлеток сиговых показало, что изменение липидов в негативную сторону (снижение незаменимых ПНЖК) начинается с мышц (корм № 14—1 в табл. 6). По всей вероятности мышцы резервируют длинноцепочные эссенциальные жирные кислоты для организма, в том числе для печени, которая играет многофункциональную роль в осуществлении нормального обмена веществ и роста рыб.

Орошение раствором витамина С в количестве 1 г/кг корма даже в течение 10 дней после 55 сут. выращивания сохранило повышенное содержание витамина С в печени и мышцах, что позволило поддержать структуру липидов и обеспечить тем самым хорошее качество рыбной продукции с высоким содержанием ПНЖК.

Включение соевых продуктов в состав кормов для двухлеток сиговых в качестве замены 25—50% рыбной муки и льняного масла для замены 25% рыбьего жира не снижает скорости роста двухлеток сиговых. Вместе с тем даже незначительное превышение (65 сут.) установленных сроков хранения кормов (два месяца) приводит к негативным изменениям структуры липидов. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения исследований для подтверждения сроков хранения кормов. Возможно, их следует уменьшить до полутора месяцев для получения не только хороших рыбоводно-биологических результатов, но

и рыбной продукции высокого качества с необходимым для здоровья человека уровнем докозагексаеновой кислоты.

Особенности изменения жирнокислотного состава печени и мышц рыб на корме № 16 совпадают с изменениями при перекисном окислении липидов и могут быть связаны со случайным фактором. Входящий в этот корм компонент содержит в своем составе мясную птичью муку, получаемую на птицефабрике при забое кур. Для решения возможности использовать этот компонент в качестве заменителя рыбной муки необходимы повторные исследования, подтверждающие не только нормальные рыбоводно-биологические данные и показатели крови, как в проведенных опытах, но и сохранение в мышцах полезной для человека структуры липидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гладышев М.И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2012. Т. 5. С. 352—386.

Картавец Н.Е., Абрамова Ж.И., Остроумова И.Н., Шабалина А.А. Временная инструкция по определению степени окисления липидов в кормах и оценке влияния качества кормов на рыб. Л.: ГосНИОРХ, 1987. 28 с.

Князева Л.М. Рекомендации по увеличению сроков хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С. Л.: ГосНИОРХ, 1979. 12 с.

Лукина Ю.Н. Проблемы здоровья рыб в водных экосистемах Европейско-Сибирской области Палеарктики. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 37 с.

Остроумова И.Н. Особенности пищевых потребностей у рыб с различной температурой обитания и пути повышения эффективности их кормления // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 1988. Вып. 275. С. 5—25.

Остроумова И.Н., Костюничев В.В., Лютиков А.А. и др. Разработка физиологически полноценных кормов для молоди сиговых рыб (*Coregonidae*) и сравнительная оценка их с импортными кормами // Вопр. рыболовства. 2016. Т. 17. № 3. С. 335–350.

Остроумова И.Н., Шумилина А.К., Лютиков А.А. Влияние длительности хранения кормов на фракционный и жирнокислотный состав липидов печени сиговых // Вестник рыбохозяйственной науки. 2018. Т. 5, № 3 (19). С. 60–67.

Рудченко А.Е. Роль трофических факторов в формировании жирнокислотного состава рыб, обитающих в водоемах Красноярского края. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск: СФУ, 2018. 24 с.

Сборник методических рекомендаций по промышленному выращиванию сиговых рыб для целей воспроизводства и товарной аквакультуры / Под ред. А. К. Шумилиной. СПб.: ГосНИОРХ, 2012. 289 с.

Суццик Н.Н. Роль незаменимых жирных кислот в трофометаболических взаимодействиях в пресноводных экосистемах (обзор) // Журнал общей биологии. 2008. Т. 69 № 4. С. 299–316.

Larval fish nutrition / Ed. G.J. Holt. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011. 435 p.

Karalazos V. Sustainable alternatives to fish meal and fish oil in fish nutrition: effects on growth, tissue fatty acid composition and lipid metabolism. Scotland. Stirling: Institute of aquaculture, University of Stirling, 2007. 190 p.

Tocher D.R. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective // Aquaculture. 2015. V. 449. P. 94–107

Turchini G.M., Bente E., Torstensen and Wing-Keong Ng. Fish oil replacement in finfish nutrition // Reviews in Aquaculture. 2009 V. 1. P. 10–57.

C VITAMIN EFFECT ON FATTY ACIDS COMPOSITION OF LIVER AND MUSCLES OF TWO-YEAR-OLD WHITEFISHES (*COREGONIDAE*) NURTURED IN AQUACULTURE

© 2020 y. I. N. Ostroumova, V. V. Kostyunichev, A. A. Lyutikov, A. K. Shumilina, T. A. Philatova

Saint Petersburg branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography (L. S. Berg GosNIORKH) Saint Petersburg, 199053

Two-year-old coregonines (broad whitefish *Coregonus nasus*) were grown in cages on experimental feeds. After 55 days (the feeds expiry date was two months) the feeds began to spray with a solution of vitamin C, which increased the vitamin content in liver and muscles and retained a high level of Omega-3 acids in those tissues. The fish was growing at the same growth rate in all fish cages with normal blood values. The fish which did not receive additional C Vitamin had reduced content of polyunsaturated fatty acids in muscles, especially docosahexanoic acid – 15,9% versus 21,8%, while the content of monounsaturated oleic acid was increased – 34,5 against 26,7%. All fishes had similar fatty acid profile in their liver. Apparently, it is the muscles that are a reserve of essential fatty acids for the liver and other organs having an enhanced need in Omega-3 acids.

Keywords: Two-year-old coregonines (*Coregonus nasus*), feed, fish flour alternatives, spraying feeds with vitamin C, growth, hematological parameters, polyunsaturated fatty acids, docosahexanoic acid, liver, muscles.