

Сравнительная характеристика физиологического состояния судака (*Sander lucioperca* L.) из различных условий обитания: из озера – естественного места обитания, прудов и садков рыбоводного хозяйства

А. А. ЛЮТИКОВ, А. Е. КОРОЛЕВ, А. К. ШУМИЛИНА, Ю. Н. ЛУКИНА, М. М. ВЫЛКА, А. С. ПРИЩЕПА

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ “Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии” (“ГосНИОРХ” им. Л. С. Берга)

199053, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 26

E-mail: tokmo@mail.ru

Статья поступила 20.02.2023

После доработки 19.08.2023

Принята к печати 02.10.2023

АННОТАЦИЯ

Исследования физиологического состояния трехлеток судака из озера – естественного места обитания, прудов и садков рыбоводного хозяйства, показали существенные различия в размерно-массовых, биохимических, гематологических и гистофизиологических параметрах рыб. Заводские рыбы имеют крупные размеры (длина 26,2 см, масса 242,1 г), сопоставимые с размерами озерных особей (27,6 см и 278,2 г против 23,7 см и 162,6 г у судаков из прудов), высокие значения индекса печени (3,68 % против 1,42 и 1,03 % у озерных и прудовых рыб соответственно), гонад (0,73 % против 0,15 и 0,08 %) и полостного жира (8,61 % против 1,87 и 2,30 %). Химический состав тела заводских рыб характеризуется содержанием большого количества липидов (9,4 % против 2,5 и 3,6 % соответственно) и безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) (3,4 % против 2,5 и 2,4 %), мышцы – белка (21,0 % против 19,0 и 19,2 %), печень – липидов (26,6 % против 11,1 и 7,5 % соответственно) и БЭВ (9,6 % против 1,9 и 2,5 %), и низким содержанием влаги (51,7 % против 69,3 и 71,5 %), белка (11,2 % против 16,6 и 17,2 %), золы (0,9 % против 1,1 и 1,3 %) и витамина С (67,5 % против 87,9 и 97,6 %). Жирнокислотный состав липидов мышц заводских рыб в целом был сопоставим с таковым у озерных и прудовых рыб – основные группы жирных кислот находились на близком уровне: ПНЖК в диапазоне 37,0–40,6 % от суммы ЖК, НЖК – 25,5–29,6 %, МНЖК – 28,0 и 23,2 % у заводских и озерных рыб, и 17,5 % у прудовых. Крайне низким у заводских особей было содержание арахидоновой ЖК 20:4n-6 (1,0 % против 8,0 и 11,5 % от суммы ЖК). Липиды печени заводских рыб содержали большое количество олеиновой ЖК 18:1n-9 (30,3 % против 16,2 и 15,0 % от суммы ЖК у озерных и прудовых рыб) и n-6 ПНЖК (17,5 % против 8,4 и 7,1 %), в частности линолевую ЖК 18:2n-6 (7,0 % против 1,9 и 0,2 %). Кровь заводских рыб от прудовых отличалась пониженным содержанием гемоглобина (64,8 % против 74,8 г/л), повышенным содержанием незрелых лимфоцитов (11,6 % против 6,1 %) и незрелых эритроцитов (2,2 % против 1,1 %). Гонады заводских рыб находились на III стадии зрелости со средним диаметром ооцитов 478,9 мкм, у озерных особей было две генерации ооцитов – превителлогенные протоплазматического роста размером 62,7 мкм и значительно более крупные вителлогенные ооциты трофоплазматического роста – 227,6 мкм. У судаков из прудов гонады соответствовали II стадии зрелости, ооциты имели размеры 58,3 мкм. Определенные отличия у судаков из озера, прудов и заводских условий связаны с различными условиями содержания и питания рыб.

Ключевые слова: судак, физиологическое состояние, химический состав, гематология.

© Лютиков А. А., Королев А. Е., Шумилина А. К., Лукина Ю. Н., Вылка М. М., Прищепа А. С., 2024

ВВЕДЕНИЕ

В условиях сокращающейся численности наиболее ценных видов рыб во внутренних водоемах России актуальной является задача создания маточных стад этих рыб в контролируемых условиях с целью восполнения их естественных популяций. С интенсивным развитием рыбоводства параллельно развивается направление ихтиологических исследований в аквакультуре, в которых морфологические, физиологические и биохимические параметры культивируемых объектов в сравнении с аналогичными параметрами диких рыб рассматриваются как качественный показатель успешности их воспроизводства. Однако проведение подобных исследований на таких ценных рыбах, как осетровые, лососевые и сиговые, имеет существенные ограничения, связанные, в первую очередь, с депрессивным состоянием их естественных популяций и запретом лова, в том числе в научных целях.

Среди ценных рыб, имеющих важное рыбохозяйственное значение, значительный интерес представляет судак *Sander lucioperca* L. Данный вид является перспективным для аквакультуры и подходящим объектом для комплексного изучения в сравнительном плане морфофизиологических, биохимических, гематологических и других параметров у диких и культивируемых рыб. Судак широко распространен на территории нашей страны, в том числе благодаря акклиматизации, значительно расширившей его ареал от Белого моря до бассейна р. Амур, а вселение в Новосибирское водохранилище позволило судаку прижиться в р. Оби и спуститься до ее низовий – Обской губы, т. е. за полярный круг [Атлас..., 2002]. Однако, несмотря на широкое распространение, промысловые запасы судака характеризуются повсеместным снижением, также наблюдается нехватка посадочного материала для целей искусственного воспроизводства [Кудерский, 2000; Шурухин и др., 2016], что указывает на необходимость разработки технологии создания и эксплуатации выращенных маточных стад судака.

Известно, что искусственно выращенные рыбы, в том числе и судак, имеют значительные отличия от рыб из природных водоемов или прудов по морфометрическим [Лютиков, Королев, 2022], морфофизиологическим [Hard et al., 2000; Arechavala-Lopez et al., 2011; Ly-

utikov, 2022], химическим [Ackman, Takeuchi, 1986; Alasalvar et al., 2002; Yildiz et al., 2008; Лютиков и др., 2022], гематологическим [Fazio et al., 2013; Parrino et al., 2018; Вылка, 2021] и другим параметрам. Следовательно, изучение качественных характеристик маточных стад в аквакультуре и их сравнение с таковыми у диких рыб позволяют определить критерии для объективной оценки физиологического состояния культивируемых видов, что, в том числе, носит практический характер.

Целью настоящей работы является исследование морфофизиологических, биохимических, гематологических и гистофизиологических параметров трехлеток судака из озера – естественного места обитания, прудов и садков рыбоводного хозяйства. Подобное комплексное изучение физиологического состояния судака из различных условий обитания/содержания, имеющего общее происхождение, проводится впервые, что определяет новизну настоящей работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования – трехлетки судака, выращенные в прудах крестьянского прудового рыбоводного питомника К. А. Аверченкова и в садках рыбоводного хозяйства ООО “Форват”, установленных в оз. Суходольское (Приозерский р-н, Ленинградская обл.), а также дикие особи, выловленные из этого же водоема. Подопытные судаки, выращенные в прудах и заводских условиях, имеют общее происхождение с озерной рыбой, так как были получены от маточного стада, сформированного в ООО “Форват” из производителей, отловленных из оз. Суходольское в 2014–2017 гг.

В садках рыба получала искусственные экструдированные производственные корма Biomar Efico Sigma 840 (Дания) с содержанием протеина 47 %, жира 14 %. Жирнокислотный состав липидов корма (основные жирные кислоты и их группы) представлен в табл. 1. В прудах судаки питались естественным кормом и молодью карповых рыб, специально подсаженной для его подкормки. Отлов рыб для исследований из природного водоема осуществляли с 10 по 17 октября, из садков и прудов – 25 и 26 октября 2021 г. соответственно.

Аналитическую работу проводили в лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ “ВНИРО” (ГосНИОРХ им. Л. С. Берга), жирнокислотный состав мышц и печени рыб определяли в ООО “МИП-АМТ” (Санкт-Петербург), изготовление гистологических препаратов – на кафедре зоологии и эволюционной экологии животных Тюменского государственного университета. Количества исследованных рыб из каждой группы составляло: для морфофизиологического анализа – по 25 экз., биохимического, гематологического и гистофизиологического – по 10 экз., жирнокислотного состава мышц и печени – по 5 экз.

Длину рыб определяли до конца чешуйного покрова, индексы внутренних органов (печени, гонад, сердца, селезенки, ЖКТ) и полостного жира определяли как процентное отношение их массы к массе рыбы. Коэффициент упитанности рассчитывали как отношение массы к длине тела рыбы до конца чешуйного покрова, введенной в куб.

Методами химического анализа определяли относительное содержание влаги, сухого вещества, липидов (по методу Фолча), белка (по методу Кельдаля), минеральных веществ (золы) – методом сжигания пробы в муфельной печи при температуре 550 °С до постоянной массы золы, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) – расчетным методом, и витамина С – модифицированным методом титрования экстракта витамина в соляной кислоте реагентом Тильманса [Князева, 1979]. Для определения данных показателей из нескольких образцов рыб готовили интегральную пробу. Анализ жирнокислотного состава тела судаков проводили методом газожидкостной хроматографии. Подробно методика опубликована в наших более ранних работах [Лутиков, 2022].

Для исследования гематологических показателей руководствовались “Методическими указаниями по проведению гематологического обследования рыб от 02.02.1999 № 13-4-2/1487” [1999]. Кровь отбирали из хвостовой вены.

Гистофизиологический анализ половых желез и печени трехлеток судака проводили по стандартным гистологическим методикам [Лилли, 1969; Микодина и др., 2009]. Для определения размеров ооцитов исследовали по 30 половых клеток.

Таблица 1
Жирнокислотный состав корма, используемого при выращивании судака в садках, % от суммы ЖК

Жирные кислоты	BioMar Efico Sigma 840
НЖК	31,64±1,07
МНЖК	35,16±1,41
18:3n-3 а-линовеновая	2,82±0,02
20:5n-3 эйкозапентаеновая	8,88±0,38
22:6n-3 докозагексаеновая	13,41±0,83
n-3 всего	25,20±1,01
18:2n-6 линолевая	6,57±0,34
20:4n-6 арахидоновая	0,64±0,03
n-6 всего	7,39±0,42
Σ ПНЖК	32,59±1,17

П р и м е ч а н и е. НЖК, МНЖК, ПНЖК – соответственно насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты.

Статистическая обработка данных выполнена с помощью программного пакета Statistica 6.0. В таблицах приведены среднеарифметические значения (M), стандартная ошибка среднего (m), коэффициент вариабельности признака (C_v). Для определения различий между группами использовали t-критерий Стьюдента, нормальность распределения определяли по критерию Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Размерно-массовые и морфофизиологические показатели

Культивируемые в садках трехлетки судака характеризуются относительно высокими размерно-массовыми показателями (длина 26,2 см, масса 242,1 г), сопоставимыми с таковыми у озерных рыб (27,6 см и 278,2 г), и высокими значениями индекса печени (3,68 %), гонад (0,73 %) и полостного жира (8,61 %), достоверно превышающими аналогичные значения у судаков из озера (1,42; 0,15; 1,87 % соответственно) и прудов (1,03; 0,08; 2,30 %) (табл. 2). Индекс ЖКТ у искусственно выращенных рыб (2,82 %) занимает промежуточное значение между таким индексом у судаков из озера (4,29 %) и прудов (2,17 %). Садковых рыб от диких отличают относительно низкие индекс сердца (0,15 % против 0,20 %) и коэффициент упитанности (1,25 % против 1,33 %), а от прудовых – меньший индекс селезенки (0,09 % против 0,16 %). Между собой озерные

Таблица 2
Биологическая характеристика судака из различных условий обитания

Признак	Садки		Озеро		Пруд	
	$M \pm m$	$C_v, \%$	$M \pm m$	$C_v, \%$	$M \pm m$	$C_v, \%$
Длина до конца чешуйного покрова, см	26,2 \pm 0,5 ^{a, b}	6,17	27,6 \pm 0,4 ^b	4,18	23,65 \pm 0,4 ^c	5,18
Масса, г	242,1 \pm 16,2 ^{a, b}	21,17	278,7 \pm 10,4 ^b	11,83	162,64 \pm 18,1 ^c	35,30
Коэффициент упитанности, %	1,25 \pm 0,01 ^{a, c}	3,79	1,33 \pm 0,03 ^{b, c}	6,50	1,37 \pm 0,10 ^c	21,95
Полостной жир, %	8,61 \pm 0,29 ^a	10,75	1,87 \pm 0,25 ^{b, c}	42,07	2,30 \pm 0,20 ^c	27,27
Печень, %	3,68 \pm 0,21 ^a	17,80	1,42 \pm 0,10 ^b	21,39	1,03 \pm 0,05 ^c	15,07
Сердце, %	0,15 \pm 0,01 ^{a, c}	19,24	0,20 \pm 0,02 ^{b, c}	27,56	0,18 \pm 0,01 ^c	24,64
Селезенка, %	0,09 \pm 0,01 ^{a, b}	26,58	0,11 \pm 0,01 ^b	21,14	0,16 \pm 0,01 ^c	25,89
Гонады, %	0,73 \pm 0,21 ^a	88,82	0,15 \pm 0,04 ^{b, c}	78,87	0,08 \pm 0,02 ^c	72,58
ЖКТ, %	2,82 \pm 0,14 ^a	15,29	4,29 \pm 0,40 ^b	29,44	2,17 \pm 0,08 ^c	10,95

П р и м е ч а н и е. Здесь и далее значения с различными буквенными индексами имеют достоверные различия при уровне значимости $p \leq 0,05$.

и прудовые рыбы достоверно различаются индексами печени (1,42 и 1,03 % соответственно) и ЖКТ (4,29 и 2,17 %), а также индексом селезенки (0,11 и 0,16 %).

Биохимические параметры

Различия в химическом составе тела выражаются в повышенном содержании у культивируемых трехлеток по сравнению с рыбами из озера и прудов, липидов (9,4 % против 2,5 и 3,6 % соответственно) и БЭВ (3,4 % против 2,5 и 2,4 %) (табл. 3). Озерные особи от прудовых достоверно отличаются пониженным содержанием в теле сухого вещества (24,9 и 30,1 % соответственно), липидов (2,5 и 3,6 %), белка (16,8 и 19,9 %) и золы (3,1 и 4,2 %).

Мышцы рыб из различных мест обитания имеют близкие показатели химического состава и достоверно отличаются по относитель но высокому содержанию белка у садковых особей – 21,0 % против 19,0 и 19,2 % у рыб из озера и прудов соответственно, а также по содержанию витамина С, которого больше у прудовых рыб (42,0 %), чем у заводских (39,3 %) и озерных (28,4 %). Кроме того, судаки из озера содержат большее количество золы (1,3 %) и меньшее БЭВ (1,1 %), чем из прудов (1,2 и 2,1 % соответственно) (см. табл. 3).

Печень судаков, культивируемых в садках на искусственных кормах, достоверно отличается по всем исследуемым биохимическим показателям от диких и прудовых особей и, помимо повышенной жирности (26,6 %

против 11,1 и 7,5 % соответственно) и БЭВ (9,6 % против 1,9 и 2,5 %), характеризуется наименьшим содержанием влаги (51,7 % против 69,3 и 71,5 %), белка (11,2 % против 16,6 и 17,2 %), золы (0,9 % против 1,1 и 1,3 %) и витамина С (67,5 % против 87,9 и 97,6 %). Озерные рыбы отличаются от прудовых пониженным содержанием в печени золы (1,1 и 1,3 % соответственно) и БЭВ (1,9 и 2,5 %).

Жирнокислотный состав липидов мышц (в % от суммы ЖК)

Доминирующими по количеству классом жирных кислот в липидах мышц у судаков из различных условий обитания являются ПНЖК, которые у различных групп рыб имеют близкие значения – 37,01–40,60 % (табл. 4). Основная часть полиеновых ЖК представлена n-3, составляющей в липидах мышц озерных рыб 23,64 %, у прудовых и садковых особей – 28,83 и 30,59 % соответственно. Наиболее представительной жирной кислотой семейства n-3 ПНЖК является докозагексаеновая ЖК (22:6n-3), которой больше в липидах мышц заводских рыб – 22,09 %, по сравнению с озерными и прудовыми рыбами – 11,39 и 12,50 % соответственно. Затем по количественному содержанию следует эйкозапентеновая ЖК (20:5n-3): 7,56 % – у судака из озера, 5,70 % – из прудов, 4,56 % – из садков, и материнская а-липоленовая ЖК (18:3n-3), имеющая большее значение в липидах мышц прудовых рыб – 2,24 % против 1,62 и 1,52 % у заводских и озерных рыб.

Т а б л и ц а 3
Химический состав тела, мышц и печени трехлеток судака (липиды, белок, зола и БЭВ
определенены в сыром веществе)

Признак	Садки		Озеро		Пруд	
	$M \pm m$	$C_V, \%$	$M \pm m$	$C_V, \%$	$M \pm m$	$C_V, \%$
Цельная рыба (фарш)						
Влага, %	66,7 \pm 1,20 ^{a, c}	4,0	75,1 \pm 0,59 ^b	1,75	69,9 \pm 1,61 ^c	5,15
Сухое вещество, %	33,3 \pm 1,20 ^{a, c}	8,1	24,9 \pm 0,59 ^b	5,27	30,1 \pm 1,61 ^c	11,9
Липиды, %	9,4 \pm 1,06 ^a	25,3	2,5 \pm 0,45 ^b	40,9	3,6 \pm 0,32 ^c	20,2
Белок, %	17,6 \pm 0,45 ^{a, b, c}	5,7	16,8 \pm 0,55 ^b	7,3	19,9 \pm 1,08 ^c	12,1
Зола, %	2,9 \pm 0,44 ^{a, b}	33,7	3,1 \pm 0,18 ^b	12,7	4,2 \pm 0,37 ^c	19,8
БЭВ	3,4 \pm 0,16 ^a	8,8	2,5 \pm 0,08 ^{b, c}	7,9	2,4 \pm 0,05 ^c	6,1
Витамин С, мкг/г	39,6 \pm 0,79 ^{a, b, c}	4,5	36,4 \pm 0,85 ^{b, c}	4,8	41,1 \pm 2,03 ^c	11,1
Мышцы						
Влага, %	75,4 \pm 0,20 ^{a, b, c}	0,5	77,8 \pm 0,2 ^{b, c}	0,5	76,9 \pm 0,22 ^c	0,4
Сухое вещество, %	24,6 \pm 0,20 ^{a, b, c}	1,4	22,2 \pm 0,21 ^{b, c}	1,7	23,1 \pm 0,22 ^c	1,4
Липиды, %	0,8 \pm 0,04 ^{a, b, c}	8,6	0,8 \pm 0,48 ^{b, c}	99,3	0,6 \pm 0,02 ^c	1,3
Белок, %	21,0 \pm 0,21 ^a	1,8	19,0 \pm 0,47 ^{b, c}	4,3	19,2 \pm 0,17 ^c	1,2
Зола, %	1,4 \pm 0,01 ^{a, b}	0,7	1,3 \pm 0,03 ^b	3,9	1,2 \pm 0,03 ^c	3,0
БЭВ, %	1,4 \pm 0,01 ^{a, b}	1,6	1,1 \pm 0,02 ^b	2,9	2,1 \pm 0,04 ^c	2,7
Витамин С, мкг/г	39,3 \pm 1,44 ^{a, c}	6,4	28,4 \pm 0,20 ^b	1,1	42,0 \pm 2,70 ^c	9,1
Печень						
Влага, %	51,7 \pm 2,39 ^a	8,0	69,3 \pm 1,08 ^{b, c}	2,7	71,5 \pm 1,1 ^c	3,2
Сухое вещество, %	48,3 \pm 2,39 ^a	8,6	30,7 \pm 1,09 ^{b, c}	6,1	28,5 \pm 1,12 ^c	5,9
Липиды, %	26,6 \pm 1,98 ^a	12,9	11,1 \pm 1,10 ^{b, c}	17,2	7,5 \pm 1,41 ^c	8,4
Белок, %	11,2 \pm 0,24 ^a	3,7	16,6 \pm 1,38 ^{b, c}	14,4	17,2 \pm 1,18 ^c	10,6
Зола, %	0,9 \pm 0,04 ^a	8,0	1,1 \pm 0,04 ^b	11,6	1,3 \pm 0,04 ^c	6,5
БЭВ	9,6 \pm 0,26 ^a	4,6	1,9 \pm 0,03 ^b	2,1	2,5 \pm 0,04 ^c	3,3
Витамин С, мкг/г	67,5 \pm 9,20 ^a	23,6	87,9 \pm 2,77 ^{b, c}	5,5	97,6 \pm 4,24 ^c	12,4

Другая группа ПНЖК – n-6, в большей степени представлена в липидах мышц прудовых и озерных рыб – 16,77 и 13,37 %, и в меньшей у заводских особей – 8,39 %. При этом основу семейства n-6 у судаков из прудов и озера составляет арахидоновая ЖК (20:4n-6) – 11,51 и 8,04 % соответственно, что значительно больше, чем у судаков из садков, – 0,96 %. У садковых рыб основной жирной кислотой семейства n-6 выступает линолевая ЖК (18:2n-6), составляющая 6,38 %, у озерных и прудовых рыб – 2,81 и 2,74 % соответственно.

Следующим по количественному содержанию классом жирных кислот в мышцах озерных и прудовых рыб являются НЖК –

28,49 и 29,57 % соответственно, у заводских – МНЖК, составляющие 27,97 % (см. табл. 4). Среди НЖК доминирующей выступает пальмитиновая ЖК (16:0), которая у всех групп рыб имеет близкие значения и находится в диапазоне 18,28–20,61 %. Наиболее представительнойmonoеновой жирной кислотой является олеиновая (18:1n-9), которой значительно больше в липидах мышц заводских рыб – 19,70 %, относительно озерных и прудовых особей – 13,40 и 9,28 % соответственно. Следующей в количественном выражении МНЖК выступает пальмитолеиновая ЖК (16:1n-7), содержание которой в мышцах озерных рыб составляет 5,41 % против 3,50 и 3,84 % у заводских и прудовых.

Т а б л и ц а 4
Жирнокислотный состав липидов печени и мышц трехлеток судака, % от суммы ЖК

Жирные кислоты	Садки		Озеро		Пруд		Мышцы	
	Печень		Садки		Озеро			
	Пруд		Пруд		Пруд			
НЖК	14:0	2,46±0,53	2,23±0,14	1,72±0,64	1,17±0,35	1,50±0,44	0,74±0,37	
	15:0	0,22±0,07	0,32±0,11	2,00±0,43	0,19±0,06	0,41±0,11	0,67±0,13	
	16:0	16,06±1,02	17,58±1,25	21,78±2,21	18,28±1,61	18,81±1,12	20,61±1,43	
	17:0	0,50±0,08	0,46±0,07	0,32±0,04	0,23±0,03	0,65±0,12	0,92±0,18	
	18:0	0,18±0,04	2,77±0,15	3,59±0,63	3,66±0,81	5,23±0,94	5,03±1,02	
	20:0	—	—	—	0,15±0,02	0,18±0,02	0,14±0,03	
	24:0	0,93±0,22	2,58±0,53	0,25±0,06	1,41±0,35	1,71±0,55	1,46±0,42	
	Σ	20,36±2,19	26,02±2,50	29,66±1,49	25,51±2,84	28,49±3,12	29,57±3,63	
МНЖК	16:1n-7	8,70±2,62	18,27±5,63	8,45±2,94	3,50±0,71	5,41±1,11	3,84±1,68	
	18:1n-7	9,30±2,46	10,09±2,25	8,18±0,72	2,57±0,33	3,95±0,53	3,79±0,64	
	18:1n-9	30,32±7,39	16,17±3,63	15,00±1,62	19,70±5,36	13,40±1,62	9,28±2,12	
	20:1n-9	0,07±0,01	3,06±0,88	5,55±1,05	2,20±0,20	0,46±0,10	0,59±0,11	
	Σ	48,39±4,68	47,59±6,92	37,18±4,16	27,97±3,09	23,22±7,29	17,50±6,19	
ПНЖК	18:2n-3	1,68±0,39	0,52±0,08	5,38±1,16	—	—	—	
	18:3n-3 АЛК	0,61±0,15	0,07±0,02	3,74±0,82	1,62±0,42	1,52±0,36	2,24±0,55	
	18:4n-3	0,60±0,17	0,37±0,08	0,41±0,10	0,41±0,08	0,47±0,12	0,39±0,09	
	20:3n-3	—	—	—	0,32±0,06	0,67±0,13	0,68±0,14	
	20:5n-3 ЭПК	0,29±0,03	0,21±0,05	0,25±0,08	4,56±0,72	7,56±1,14	5,70±1,02	
	21:5n-3	0,16±0,01	0,16±0,01	3,48±0,43	1,19±0,12	0,72±0,6	0,65±0,6	
	22:5n-3	0,50±0,14	0,08±0,02	1,39±0,16	0,31±0,03	1,31±0,14	1,67±0,19	
	22:6n-3 ДГК	1,06±0,22	2,95±0,59	1,04±0,11	22,09±1,01	11,39±0,61	12,50±1,33	
	n3	4,90±0,23	4,36±0,21	15,69±0,44	30,50±1,36	23,64±1,05	23,83±0,92	
	18:2n-6 ЛК	7,01±0,86	1,90±0,14	0,21±0,03	6,38±0,72	2,81±0,45	2,74±0,32	
	18:3n-6	0,07±0,01	0,11±0,01	0,42±0,03	0,17±0,01	0,37±0,03	0,44±0,03	
	20:2n-6	0,21±0,01	0,09±0,01	0,65±0,04	0,31±0,03	0,19±0,01	0,18±0,02	
	20:3n-6	0,08±0,01	0,06±0,01	—	0,07±0,01	0,24±0,01	0,54±0,03	
	20:4n-6 АРК	0,14±0,01	0,25±0,02	0,07±0,01	0,96±0,05	8,04±0,56	11,51±0,61	
	22:2n-6	0,36±0,02	0,25±0,02	0,10±0,01	0,11±0,01	—	—	
	22:4n-6	1,15±0,08	1,67±0,11	0,99±0,06	0,12±0,01	—	—	
	22:5n-6	—	—	—	0,27±0,02	1,72±0,11	1,36±0,10	
	24:2n-6	3,60±0,52	4,02±0,26	4,65±0,24	—	—	—	
	n6	12,62±0,64	8,35±0,31	7,09±0,62	8,39±0,66	13,37±0,89	16,77±0,66	
	Σ	17,52±0,72	12,71±0,40	22,78±0,92	38,89±2,10	37,01±3,12	40,60±2,96	
Неучтенные		12,33	13,68	10,38	7,63	11,28	12,33	
Σ n-3/ Σ n-6 ПНЖК		0,38	0,52	2,21	3,64	1,77	1,72	
18:3n-3/18:2n-6		0,09	0,04	17,81	0,25	0,54	0,82	
16:0/18:1n-9		0,53	1,09	1,45	0,93	1,40	2,22	

П р и м е ч а н и е. Тире – менее 0,05 %.

Жирнокислотный состав липидов печени

В липидах печени у судаков из различных условий обитания доминирующими классом жирных кислот являются МНЖК, которые у садковых и озерных особей составляют практически половину от суммы ЖК – 48,39 и 47,59 % соответственно, у прудовых – 37,18 % (см. табл. 4). При этом олеиновая ЖК

является основной моноеновой ЖК в липидах печени заводских рыб и составляет 30,32 %, в то время как у озерных рыб эта ЖК содержится в значительно меньшем количестве – 16,17 %, и сопоставима по содержанию с пальмитолеиновой ЖК – 18,27 %. У прудовых рыб олеиновая и пальмитиновая кислоты составляют соответственно 15,00 и 8,45 %.

Вторую позицию по содержанию в липидах печени судаков занимают НЖК, которые

у рыб из садков составляют 20,36 %, из озера – 26,02 %, из прудов – 29,66 %. Среди НЖК наиболее представительной является пальмитиновая ЖК, которой меньше в липидах печени заводских и озерных особей, – 16,06 и 17,58 %, и больше у прудовых рыб – 21,78 %.

Наименее представительным классом жирных кислот липидов печени у судаков из разных местообитаний являются ПНЖК, составляющие от 12,71 % у озерных особей до 22,78 % у прудовых рыб, садковые рыбы по этому показателю занимают промежуточное значение – 17,52 % (см. табл. 4). При этом наибольшее количество n-3 ПНЖК отмечено в липидах печени судаков из прудов – 15,69 %, у заводских и озерных рыб этот показатель значительно ниже – 4,90 и 4,36 % соответственно. Напротив, по содержанию n-6 ПНЖК лидерами являются заводские особи, у которых эта группа кислот в липидах печени составляет 12,62 %, у судаков из озера и прудов – 8,35 и 7,09 %.

Жирнокислотный состав ПНЖК липидов печени у разных групп судаков довольно разнообразен. Так у прудовых рыб значительно больше а-линовеновой ЖК – 3,74 % (против 0,61 и 0,07 % у заводских и озерных рыб соответственно, см. табл. 4). Эйкозапентаеновая ЖК у всех групп судаков находится на низком уровне – 0,21–0,29 %, докозагексаеновая ЖК является доминирующей в классе n-3 ПНЖК в липидах печени озерных рыб и составляет 2,95 %, у садковых и прудовых рыб этой кислоты значительно меньше – в среднем 1,05 %.

Среди n-6 ПНЖК наиболее представительной жирной кислотой в липидах печени заводских рыб является линолевая ЖК – 7,01 % (против 1,90 и 0,21 % у озерных и прудовых рыб соответственно), у судаков из озера и пруда доминирующей выступает 24:2n6, составляющая 4,02 и 4,65 % соответственно, содержа-

ние которой у садковых рыб было 3,60 %. Арахидоновая ЖК в липидах печени всех исследованных групп рыб имеет низкое значение и находится в диапазоне 0,07–0,25 % (см. табл. 4).

Присутствие в большом количестве 18:1n-9 и 18:2n-6 ЖК в липидах печени и мышц заводских рыб существенно понизило индексы соотношения суммарных ПНЖК двух семейств n3/n6 в печени (0,38 % против 0,52 и 2,21 % у озерных и прудовых рыб соответственно), материнских 18:3n-3/18:2n-6 в печени и мышцах (0,09 % против 0,04 и 17,81 %, и 0,25 против 0,54 и 0,82 % соответственно), и наиболее представительных насыщенных и мононенасыщенных ЖК – 16:0/18:1n-9 в печени и мышцах (0,53 % против 1,09 и 1,45 %, и 0,93 % против 1,40 и 2,22 % соответственно) (см. табл. 4). Приведенные выше индексы характеризуют в том числе ход, направленность реакций и интенсивность процессов липидного обмена организма [Нефедова и др., 2020].

В целом жирнокислотный состав липидов мышц судаков, выращенных в садках, отражает состав жирных кислот липидов корма, что подтверждается высоким уровнем корреляционной зависимости – $r = 0,93$. Для липидов печени эта зависимость существенно ниже – $r = 0,74$, что объясняется высокой интенсивностью метаболизма жирных кислот в органе.

Гематологические показатели

Гематологические исследования, проведенные на судаках из садков и прудов (рыбы из озера передавались на исследования снулыми), указывают на достоверно более низкие показатели у заводских рыб гемоглобина в крови (64,8 г/л против 74,8 г/л), повышенное содержание больших, или незрелых, лимфоцитов (11,6 % против 6,1 %) и незрелых эритроцитов (2,2 % против 1,1 %) (табл. 5).

Таблица 5
Гематологические показатели трехлеток судаков, выращенных в садках и прудах

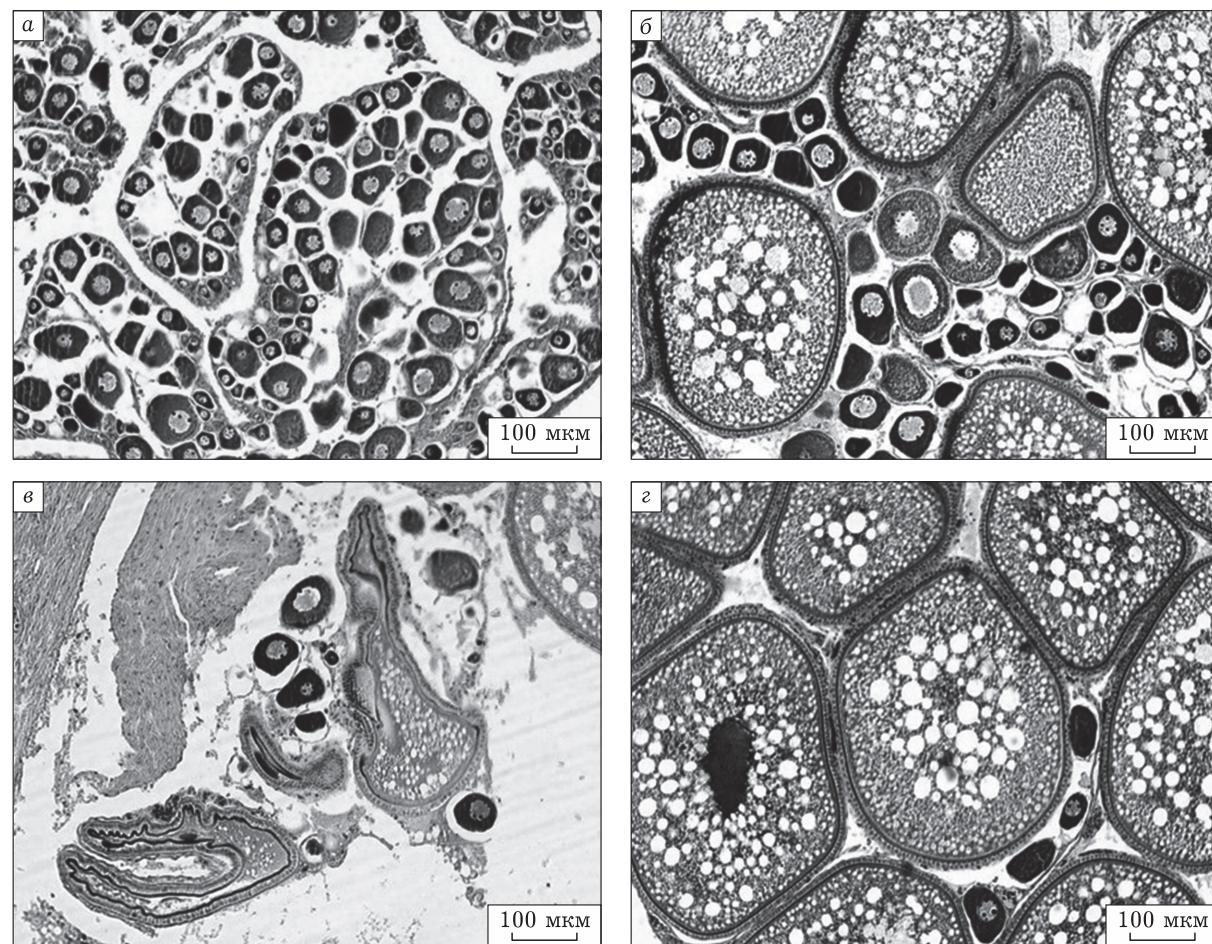
Показатель	Садки	$C_v, \%$	Пруды	$C_v, \%$
Гемоглобин, г/л	$64,8 \pm 1,9^a$	6,7	$74,8 \pm 2,1^b$	8,7
Лимфоциты, %	$82,4 \pm 1,4^a$	5,3	$88,2 \pm 1,3^a$	4,8
Большие (незрелые) лимфоциты, %	$11,6 \pm 0,9^a$	23,6	$6,1 \pm 1,1^b$	54,6
Нейтрофилы, %	$2,2 \pm 0,6^a$	80,0	$2,7 \pm 0,5^a$	56,3
Моноциты, %	$3,8 \pm 0,7^a$	57,4	$3,1 \pm 0,5^a$	53,1
Незрелые эритроциты, %	$2,2 \pm 0,5^a$	67,1	$1,1 \pm 0,2^b$	51,6
Лейкоциты / 500 эритроцитов	$6,3 \pm 0,8a$	40,8	$4,9 \pm 0,8^a$	53,1

Остальные исследуемые показатели не имели достоверных отличий, однако наблюдалась тенденция на повышение содержания моноцитов (3,8 % против 3,1 %) и лейкоцитов (6,3 против 4,9 лейкоцитов/500 эритроцитов) в крови садковых рыб.

Результаты гистологических исследований

Гистологические исследования гонад позволили классифицировать подопытных рыб на группы в зависимости от условий обитания/ содержания. Гонады подавляющего большинства самок судаков из прудов соответствовали II стадии зрелости, а основная масса ооцитов

находилась в процессе протоплазматического роста (рисунок, а). Размеры ооцитов находились в диапазоне 36,4 – 80,5 мкм при среднем значении $58,3 \pm 3,3$ мкм. В яичниках озерных особей было отмечено наличие двух генераций половых клеток: превителлогенные протоплазматического роста, размером $62,7 \pm 3,8$ мкм, и значительно более крупные вителлогенные ооциты трофоплазматического роста – $227,6 \pm 11,2$ мкм, на разных фазах вакуолизации цитоплазмы (рисунок, б). В некоторых гонадах встречались участки с ооцитами, подвергшимися резорбции (рисунок, в). Наиболее развитыми были гонады самок, выращенных в садковых условиях, у которых основная масса ооцитов вступила в период



Фрагменты яичников ($\times 10$) трехлеток судака из различных условий обитания:

а – пруды: гонады II стадии зрелости, протоплазматический рост ооцитов; б – озеро: гонады II–III стадии зрелости, асинхронное развитие ооцитов, неравномерный рост ооцитов, вступивших в фазу трофоплазматического роста (ооциты с разной степенью вакуолизации цитоплазмы); в – озеро: резорбция ооцитов старшей генерации, вступивших в период трофоплазматического роста; г – садки рыбоводного хозяйства: гонады III стадии зрелости. Ооциты, вступившие в фазу вителлогенеза, характеризуются наличием в цитоплазме глыбок желтка и рассеянных между ними капелек жира, между клетками фолликулярного эпителия видны границы

вителлогенеза, что свидетельствует о переходе гонад в III стадию зрелости (рисунок, г). Размеры ооцитов заводских особей составили $478,9 \pm 32,6$ мкм.

Статистически размеры ооцитов протоплазматического роста прудовых и озерных особей не имели отличий, в то время как ооциты трофоплазматического роста озерных и заводских самок достоверно отличались.

ОБСУЖДЕНИЕ

Несомненно, среда обитания и тип питания влияют на качественные изменения морфофизиологических, биохимических и других параметров искусственно выращиваемых рыб по сравнению с дикими особями того же вида. Низкая двигательная активность и использование высококалорийных диет приводят к накоплению избыточного полостного жира и значительному увеличению индекса печени у судаков в садках – в среднем в 4,2 и 3,1 раза выше соответственно, чем у диких и прудовых рыб. Общая жирность тела заводских особей в 2,6–3,8 раза, а печени – в 2,4–3,5 раза больше, чем у озерных и прудовых рыб (см. табл. 3). Напротив, содержание жира в мышцах всех исследованных нами рыб находится в диапазоне 0,6–0,8 %, что связано с особенностью липидного обмена у судака – липиды накапливаются в полости тела в виде висцерального жира [Payuta, Flerova, 2019] и, как показывают настоящие исследования, в печени.

Печень заводских рыб также характеризуется высоким содержанием БЭВ, уровень которых в 4,4 раза выше, чем у судаков из озера и прудов, что может быть следствием избыточного отложения резервного жира в организме. Например, у теплокровных животных при ожирении длительно повышается уровень свободных жирных кислот в плазме и подавляется секреция инсулина, что, в свою очередь, приводит к повышенному уровню глюкозы в крови [Boden, Shulman, 2002]. Повышение уровня глюкозы в плазме крови культивируемых рыб может быть следствием применения очень жирных кормов – так, диеты с 26 % жира увеличивали уровень глюкозы у скалозуба *Takifugu rubripes* Temminck, Schlegel. до 99 мг/100 мл плазмы крови, а с 6 % жира – только до 45 мг/100 мл

[Kikuchi et al., 2009]. Таким образом, глюкоза, присутствующая в крови рыб с признаками ожирения, депонируется в печени в существенно большем количестве, чем у особей, уровень жира которых находится в норме.

С ожирением заводских рыб может быть связано снижение в печени концентрации витамина С, которого у судаков из садков в 1,3–1,4 раза меньше, чем у озерных и прудовых рыб. Известно участие витамина С в предотвращении окисления липидов, а его снижение в печени может свидетельствовать об истощении антиоксидантной функции рыб и наступлении у них окислительного стресса [Остроумова и др., 1991, 2020].

Еще одним индикатором перекисного стресса у рыб является изменение жирнокислотного состава липидов печени со снижением количества кислот n-3 ряда и повышением моноеновых жирных кислот [Лукина, 2014]. По таким индикаторам была установлена близость заводских и озерных рыб, в липидах печени которых n-3 ПНЖК было в среднем в 3,4 раза меньше, а МНЖК в 1,3 раза больше аналогичных показателей у судаков из прудов (см. табл. 4). Учитывая различные рационы рыб в садках и озере, сходство их ЖК состава липидов печени может быть связано со средой содержания/обитания, садки рыболовного хозяйства установлены в оз. Суходольском – естественном месте обитания судака, которое в последние годы характеризуется значительным ухудшением экологического состояния [Отчет..., 2021]. Процесс активизации перекисного окисления липидов в организме рыб под воздействием загрязнения водоема известен на примере нефтяного загрязнения р. Печоры, в которой у обитающих в реке си-голов помимо прочих маркеров окислительного стресса также происходило повышение уровня МНЖК и понижение ПНЖК по сравнению с рыбами из контрольного экологически благополучного водотока [Лукина, 2014]. Известно, что увеличение МНЖК с преобладанием олеиновой ЖК в резервных жирах рыб происходит при дефиците ПНЖК, которая компенсирует недостаток полиеновых кислот и обеспечивает тем самым проницаемость мембран клеток [Watanabe, 1982]. Данный факт можно также рассматривать как адаптационный процесс в организме рыб при активизации перекисного окисления липидов.

Другая причина высокого содержания (накопления) МНЖК, в основном 18:1n-9, в липидах печени и мышц заводских рыб может заключаться в их способности легко резервироваться и мобилизовываться в организме для энергетических нужд [Kopprio et al., 2015]. Действительно, МНЖК в организме рыб имеют пищевое происхождение и являются важным энергетическим источником. В применяемых в наших исследованиях искусственных кормах липиды на одну треть состояли из моноеновых жирных кислот (см. табл. 1), что связано с использованием в рецептуре рапсового масла, содержащего много 18:1n-9 – до 60 % от суммы ЖК, и 18:2n-6 – около 20 % от суммы ЖК [Остриков и др., 2016]. По всей видимости, на повышение в липидах печени и мышц заводских рыб 18:1n-9 ЖК и МНЖК в целом повлиял, в том числе, фактор питания.

Присутствие в диете и, как следствие, в липидах печени и мышц у заводских рыб в большом количестве 18:1n-9 и 18:2n-6 существенно понизило индексы соотношения n3/n6, 18:3n-3/18:2n-6 и 16:0/18:1n-9, что указывает на слабую интенсивность метаболизма жирных кислот в организме судаков, выращенных в заводских условиях, которая сопровождается активным накоплением липидов в печени и полости тела.

Малое количество арахидоновой кислоты в липидах мышц и печени заводских рыб может быть следствием ее низкого содержания в искусственной диете – 0,64 % от суммы ЖК. Другой причиной низкого содержания 20:4n-6 в организме судаков из заводских условий может являться их относительно раннее половое созревание, что, по мнению некоторых авторов, способствует у рыб накоплению этой биологически активной в репродуктивных процессах жирной кислоты в гонадах [Bell, Sargent, 2003].

Яичники судаков, выращенных в садках, находились на III стадии зрелости и характеризовались равномерным созреванием ооцитов, основная масса которых вступила в период вителлогенеза (см. рисунок, г). Размеры ооцитов заводских особей были достоверно больше озерных и прудовых рыб (478,9 мкм). В яичниках озерных рыб отмечено присутствие двух разноразмерных генераций половых клеток – II и III стадии зрелости (62,7 и 227,6 мкм соответственно) (см. рисунок, б),

также встречались ооциты в процессе резорбции (см. рисунок, в). Подобную асинхронность в гаметогенезе диких рыб можно считать нормой – развитие ооцитов трофоплазматического роста у многих видов рыб в природе синхронизируется к моменту наступления IV стадии зрелости, а присутствие в гонадах резорбированных яйцеклеток, продвинувшихся в развитии относительно остальной массы ооцитов, также является механизмом, обеспечивающим однородность половых клеток при достижении ими дефинитивных размеров [Дрягин, 1949; Кошелев, 1984]. Наименее развитыми были гонады прудовых рыб, их яичники находились на II стадии зрелости (см. рисунок, а), а ооциты характеризовались наименьшими размерами (58,3 мкм), сопоставимыми с ооцитами озерных рыб II стадии зрелости. Кроме того, гонадосоматический индекс (ГСИ) прудовых рыб был в 2 раза меньше, чем у озерных, и в 9 раз ниже, чем у садковых особей. Подобное состояние воспроизводительной системы у трехлеток судака, выращенных в прудах, можно объяснить низкой активностью питания (во второй половине лета в прудах на северо-западе России наблюдается депрессия кормовой базы, связанная с вылетом имаго насекомых) и, как следствие, низким темпом роста рыб.

Слабое развитие кормовой базы, преобладание в питании беспозвоночных и невысокая встречаемость рыб-жертв в прудах сопровождались снижением индекса ЖКТ у прудовых рыб до 2,17 %, что является наименьшим показателем среди исследованных групп судака. Заводские рыбы по этому показателю занимали промежуточное значение – 2,82 против 4,29 % у диких рыб. Относительно невысокий индекс ЖКТ у рыб из садков связан со сравнительно небольшими размерами гранул искусственного корма. Известно, что пища меньших размеров переваривается быстрее, чем крупных, за счет большей площади поверхности, доступной для пищеварительных ферментов [Barrington, 1957], кроме того, современные искусственные корма для рыб изготавливаются методом экструзии, делающим компоненты корма более доступными для переваривания – переваримость судаком гранул экструдированного корма при температуре 20–22 °C происходит за 32–36 ч [Пьянов, 2017], а уклейки *Alburnus alburnus* L.

при той же температуре за 42 ч [Fábián et al., 1963]. Следовательно, небольшие по размерам и легкодоступные для переваривания и усвоения искусственные диеты сокращают энергозатраты аквакультурных рыб на процессы пищеварения и не способствуют развитию массивного ЖКТ, в отличие от диких рыб, чьей пищей являются более крупные и сложные для пищеварения кормовые объекты.

Корма и условия содержания отражаются также на гематологических показателях рыб. В частности, снижение уровня гемоглобина в крови садковых рыб до 64,8 г/л (против 74,8 г/л у прудовых рыб) может быть связано с уменьшением интенсивности обменных процессов в связи с понижением их двигательной активности в индустриальных условиях, как, например, это было показано ранее на атлантическом лососе *Salmo salar* L. [Остроумова, 1966]. Другой причиной снижения гемоглобина может являться ожирение рыб, как это было установлено на скалозубе [Kikuchi et al., 2009]. Тем не менее уровень гемоглобина в крови исследуемых нами рыб был близок к норме, установленной для судаков из природных популяций – 67–71 г/л [Jankowska et al., 2003]. Двукратное увеличение количества незрелых лимфоцитов в структуре белой крови судаков из садков по сравнению с прудовыми особями не оказывает существенного влияния на физиологическое состояние рыб из-за отсутствия функциональных отличий между двумя группами лимфоцитов [Житенева и др., 2012].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование физиологического состояния трехлеток судака, выращенных в садках на искусственных кормах, в прудах на естественной кормовой базе и выловленных из природных условий, указывает на существенные различия между ними. Содержание рыб в искусственных условиях способствует их более быстрому росту, существенно опережающему рост судака в прудах и соответствующему темпу роста судака в озере. Однако низкая двигательная активность и высококалорийные диеты могут приводить к появлению признаков ожирения у заводских особей, что выражается в повышенной жирности тела и печени, увеличении индексов печени и полостного жира, накоплении в печени углеводов (БЭВ) и сни-

жении гемоглобина в крови. Изменение жирнокислотного состава липидов мышц и печени в сторону снижения п-3 ПНЖК и повышения МНЖК (в частности, олеиновой ЖК), а также пониженная концентрация витамина С в печени являются признаками перекисного стресса организма, что в том числе свойственно судакам, обитающим в озере.

Несмотря на признаки ожирения и процессы активизации перекисного окисления липидов в организме, состояние гонад судака из заводских условий опережает в развитии гонады прудовых и диких рыб и характеризуется относительно синхронным развитием ооцитов, что в целом является индикатором нормального физиологического состояния организма. В связи с этим необходима разработка референсных значений, отражающих состояние здоровья окуневых рыб в аквакультуре, которые при нормальном физиологическом статусе организма будут значительно отличаться от таковых у обитающих в диких условиях рыб.

Особенность липидного обмена судака, в соответствии с которой накопление жира в мышцах рыб не превышает 0,8 % (для сравнения, жирность филе атлантического лосося составляет 12–14 % и выше), позволяет использовать этот вид для получения диетической высококачественной рыбной продукции.

Результаты настоящей работы определяют необходимость дальнейших физиологобиохимических исследований рыб из диких популяций и аквакультуры с целью определения оптимальных условий содержания и кормления культивируемых рыб, что может способствовать повышению качества производителей и их потомства, используемых для воспроизводства природных запасов судака и товарной аквакультуры.

Полученные результаты в будущем могут быть использованы для разработки технологии создания и эксплуатации РМС судака в садках, установленных в естественных водоемах, что может способствовать расширению возможностей рыбоводных хозяйств, не имеющих технических средств для подогрева воды.

Работа выполнена в рамках Государственно-го задания № 730000Ф.99.1.БВ10АА00006 – тема № 31.3 “Разработка технологической документации для модельных хозяйств по получению молоди

и товарному выращиванию рыб – перспективных объектов аквакультуры”, и частично финансировалась рыбоводным хозяйством ООО “Форват”, на котором осуществлялось исследование.

ЛИТЕРАТУРА

- Атлас пресноводных рыб России: В 2 т. Т. 2. / Под ред. Ю. С. Решетникова. М.: Наука, 2002. 253 с.
- Вылка М. М. Показатели крови годовиков и двухгодовиков судака *Sander lucioperca*, выращиваемого в прудах и садках // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы IX науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 140-летию ВНИРО / под ред. И. И. Гордеева, К. К. Кивви, О. В. Воробьевой, Л. О. Архипова, Е. В. Лаврухиной. М.: Изд-во ВНИРО, 2021. С. 44–46.
- Дрягин П. А. Половые циклы и нерест рыбы // Изв. ВНИОРХ. 1949. Т. 28. С. 3–113.
- Житенева А. Д., Макаров Э. В., Рудницкая О. А., Мирзоян А. В. Основы ихтиогематологии (в сравнительном аспекте). 2-е изд., испр. и доп. Ростов н/Д: АзНИИРХ, 2012. 319 с.
- Князева Л. М. Рекомендации по увеличению срока хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С. Л.: ГосНИОРХ, 1979. 12 с.
- Кошелев Б. В. Экология размножения рыб. М.: Наука, 1984. 309 с.
- Кудерский Л. А. Долгопериодные изменения уловов рыб восточной части Финского залива // Вопр. рыболовства. 2000. Т. 1, № 2–3, ч. 2. С. 23–24.
- Лилли Р. Патогистологическая техника и практическая гистохимия. М.: Мир, 1969. 645 с.
- Лукина Ю. Н. Проблемы здоровья рыб в водных экосистемах Европейско-Сибирской области Палеарктики: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2014. 37 с.
- Лютиков А. А., Королев А. Е. Сравнительный морфометрический и морфологический анализ судаков *Sander lucioperca* из прудов, озера и выращенных в индустриальных условиях // Сб. науч. тр. “Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры”. Вып. 93. М.: Изд-во “ИП Сорокин”, 2022. С. 89–95.
- Лютиков А. А., Королев А. Е., Шумилина А. К., Вылка М. М., Селиков А. Г., Курдина Е. И., Баскакова Ю. А., Артемов Р. В. Физиологическое состояние годовиков и двухгодовиков судака *Sander lucioperca* после зимовки в садках и прудах // Тр. Ин-та биологии внутр. вод им. И. Д. Папанина РАН. 2022. Вып. 98 (101). С. 7–25.
- Методические указания по проведению гематологического обследования рыб, утвержденные Департаментом ветеринарии от 2 февраля 1999 г. № 13-4-2/1487 // Сб. инструкций по борьбе с болезнями рыб. Ч. 2. М.: Отдел маркетинга АМБ-агро, 1999. С. 69–97.
- Микодина Е. В., Седова М. А., Чмилевский Д. А., Микулин А. Е., Пьянкова С. В., Полуэктова О. Г. Гистология для ихтиологов: опыт и советы. М.: ВНИРО, 2009. 112 с.
- Нефедова З. А., Мурзина С. А., Пеккоева С. Н., Воронин В. П., Немова Н. Н. Сравнительная характеристика жирно-кислотного состава липидов заводской и дикой молоди атлантического лосося *Salmo salar* L. // Сиб. экол. журн. 2020. Т. 27, № 2. С. 197–204 [Nefedova Z. A., Murzina S. A., Pekkoeva S. N., Voronin V. P., Nemova N. N. Comparative Characteristics of the Fatty Acid Composition of Lipids in Factory and Wild Juveniles of Atlantic Salmon *Salmo salar* // Contemporary Problems of Ecology. 2020. Vol. 13, N 2. P. 156–161].
- Остриков А. Н., Горбатова А. В., Аникин А. А., Копылов М. В. Анализ жирнокислотного состава рапсового масла // Масложировая пром-ть. 2016. № 6. С. 18–21.
- Остроумова И. Н. Методические указания по использованию анализа крови для оценки качества выращивания молоди семги. Л.: ГосНИОРХ, 1966. 11 с.
- Остроумова И. Н., Костюничев В. В., Лютиков А. А., Шумилина А. К., Филатова Т. А. Влияние витамина С на жирнокислотный состав печени и мышц двухлеток сиговых рыб (Coregonidae), выращиваемых в условиях аквакультуры // Вопр. рыболовства. 2020. Т. 21, № 3. С. 343–352.
- Остроумова И. Н., Лукошкина М. В., Козьмина А. В. Изменение содержания витамина С, А и Е в рыбных кормах с БВК при хранении их в разных условиях // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1991. Вып. 306. С. 14–26.
- Отчет по государственному контракту № 0845500000 421000005 “Оказание услуг по проведению комплексного исследования водной системы реки Вуокса с целью оценки возможности размещения на ней товарных рыбоводных хозяйств и определения максимальной допустимой нагрузки” / Рук. В. В. Костюничев. Фонды ГосНИОРХ. Отчет. 2021. 109 с.
- Пьянков Д. С. Рыбоводно-биологические особенности выращивания товарного судака в установках замкнутого водоснабжения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калининград: КГТУ, 2017. 23 с.
- Шурухин А. С., Лукин А. А., Педченко А. П., Титов С. Ф. Современное состояние рыбного промысла и эффективность использования сырьевой базы Финского залива балтийского моря // Тр. ВНИРО. 2016. Т. 160. С. 60–69.
- Ackman R. G., Takeuchi T. Comparison of fatty acids and lipids of smolting hatchery-fed and wild Atlantic salmon *Salmo salar* // Lipids. 1986. Vol. 21. P. 117–120.
- Alasalvar C., Taylor K. D. A., Zubcov E., Shahidi F., Alexis M. Differentiation of cultured and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*): total lipid content, fatty acid and trace mineral composition // Food Chem. 2002. Vol. 79. P. 145–150.
- Arechavala-Lopez P., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J. T., Sfakianakis D. G., Somarakis S. Morphological differences between wild and farmed Mediterranean fish // Hydrobiologia. 2011. Vol. 679, N 1. P. 217–231. doi: 10.1007/s10750-011-0886-y
- Barrington E. J. W. The alimentary canal and digestion // The Physiology of Fishes. New York: Academic Press, 1957. Vol. 1. P. 109–161.
- Bell G., Sargent J. R. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities // Aquaculture. 2003. Vol. 218. P. 491–499.
- Boden G., Shulman G. I. Free fatty acids in obesity and type 2 diabetes: defining their role in the development of insulin resistance and p-cell dysfunction // Eur. J. Clin. Invest. 2002. Vol. 32. Iss. 3. P. 14–23.
- Fábián G., Molnár G., Tölg I. Comparative data and enzyme kinetic calculations on changes caused by temperature

- in the duration of gastric digestion of some predatory fishes // *Acta Biol. Hung.* 1963. Vol. 14. P. 123–129.
- Fazio F., Marafioti S., Arfuso S., Piccione G., Faggio C. Comparative study of the biochemical and hematological parameters of four wild Tyrrhenian fish species // *Vet. Med.* 2013. Vol. 58. P. 576–581. <https://doi.org/10.17221/7139-VETMED>
- Hard J. J., Berejikian B. A., Tezak E. P., Schroder S. L., Curtis M., Knudsen L., Parker T. Evidence for morphometric differentiation of wild and captively reared adult coho salmon: a geometric analysis // *Environ. Biol. Fishes.* 2000. Vol. 58. P. 61–73.
- Jankowska B., Zakes Z., Źmijewski T., Szczepkowski M. A comparison of selected quality features of the tissue and slaughter field of wild and cultivated pikeperch *Sander lucioperca* (L.) // *Eur. Food Res. Technol.* 2003. Vol. 217. P. 401–405.
- Kikuchi K., Furuta T., Iwata N., Onuki K., Noguchi T. Effect of dietary lipid levels on the growth, feed utilization, body composition and blood characteristics of tiger puffer *Takifugu rubripes* // *Aquaculture.* 2009. Vol. 298. P. 111–117.
- Kopprio G. A., Graeve M., Kattner G., Lara R. J. Fatty acid composition of wild *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes 1835) larvae: implications on lipid metabolism and trophic relationships // *J. Appl. Ichthyol.* 2015. Vol. 31 (4). P. 752–755.
- Lyutikov A. A. Comparative characteristics of the size-weight parameters and lipid composition of wild and cultured eggs of the muksun *Coregonus muksun* (Pallas, 1814) // *Contemporary Problems of Ecology.* 2022. Vol. 15, N 1. P. 83–90. doi:10.1134/S199542552201005X
- Parrino V., Cappello T., Costa G., Cannavà C., Sanfilippo M., Fazio F., Fasulo F. Comparative study of hematology of two teleost fish (*Mugil cephalus* and *Carassius auratus*) from different environments and feeding habits // *Eur. Zool.* 2018. Vol. 85. P. 193–199. <https://doi.org/10.1080/24750263.2018.1460694>
- Payuta A. A., Flerova E. A. Some indicators of metabolism in the muscles, liver, and gonads of pike-perch *Sander lucioperca* and sichel *Pelecus cultratus* from the Gorky Reservoir // *J. Ichthyol.* 2019. Vol. 59, N 2. P. 255–262.
- Watanabe T. Lipid Nutrition in Fish // *Comp. Biochem. Physiol.* 1982. Vol. 73B, N 1. P. 3–15.
- Yildiz M., Şener E., Timur M. Effects of differences in diet and seasonal changes on the fatty acid composition in fillets from farmed and wild sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2008. Vol. 43. P. 853–858.

Comparative characteristics of the physiological state of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) from various habitat conditions: from the lake (natural habitat), ponds, fish farm cages

A. A. LYUTIKOV, A. E. KOROLEV, A. K. SHUMILINA, Yu. N. LUKINA, M. M. VYLNKA, A. S. PRISHCHEPA

St. Petersburg branch of "VNIRO" ("L. S. Berg «GosNIORKh»")
199053, St. Petersburg, Makarov emb., 26
E-mail: tokmo@mail.ru

Studies of the physiological state of three-year-old pikeperch from the lake (natural habitat), ponds and fish farm cages, showed significant differences in the size, mass, biochemical, hematological and histophysiological parameters of fish. Farmed fish have large sizes (length 26.2 cm, weight 242.1 g), comparable to the size of lake individuals (27.6 cm and 278.2 g, versus 23.7 cm and 162.6 g in pond pikeperch), high liver index values (3.68 versus 1.42 and 1.03 % in lake and pond fish, respectively), gonads (0.73 versus 0.15 and 0.08 %) and abdominal fat (8.61 versus 1.87 and 2.30 %). The chemical composition of the body of farmed fish is characterized by a large amount of lipids (9.4 versus 2.5 and 3.6 %, respectively) and nitrogen-free extracts (3.4 versus 2.5 and 2.4 %), muscle – protein (21.0 versus 19.0 and 19.2 %), liver – lipids (26.6 versus 11.1 and 7.5 %, respectively) and nitrogen-free extracts (9.6 versus 1.9 and 2.5 %), and low moisture content (51.7 versus 69.3 and 71.5 %), protein (11.2 versus 16.6 and 17.2 %), ash (0.9 versus 1.1 and 1.3 %) and vitamin C (67.5 versus 87.9 and 97.6 %). The fatty acid composition of muscle lipids of farmed fish was generally comparable to that of lake and pond fish – the main groups of fatty acids were at a similar level: polyunsaturated fatty acids in the range of 37.0–40.6 % of the total fatty acids, saturated fatty acids – 25.5–29.6 %, monounsaturated fatty acids – 28.0 and 23.2 % in farmed and lake fish, and 17.5 % in pond fish. The content of arachidonic acid 20: 4n-6 in farmed fish was extremely low (1.0 versus 8.0 and 11.5 % of the total fatty acids). Liver lipids of farmed fish contained a large amount of oleic acid 18:1n-9 (30.3 versus 16.2 and 15.0 % of the total fatty acids in lake and pond fish) and n-6 polyunsaturated fatty acids (17.5 versus 8.4 and 7.1 %), in particular linoleic acid 18:2n-6 (7.0 versus 1.9 and 0.2 %). The blood of farmed fish, compared to pond fish, differed in a lower content of hemoglobin (64.8 versus 74.8 g/l), an increased content of immature lymphocytes (11.6 versus 6.1 %) and immature erythrocytes (2.2 versus 1.1 %). The gonads of farmed fish were at stage III of maturity with an average oocyte diameter of 478.9 μ m; lake fish had two stages of oocyte maturity – previtellogenic oocytes of protoplasmic growth, 62.7 μ m in size, and significantly larger vitellogenic oocytes of trophoplasmic growth – 227.6 μ m. In pond pikeperch, gonads corresponded to stage II of maturity and oocytes were 58.3 μ m in size. Certain differences in pikeperch from lakes, ponds and farm conditions are associated with different conditions of fish keeping and feeding.

Key words: pikeperch, physiological state, chemical composition, hematology.