

Экологическая физиология и биохимия гидробионтов

УДК 639.3.07

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГОДОВИКОВ И ДВУХГОДОВИКОВ СУДАКА (*SANDER LUCIOPERCA*) ПОСЛЕ ЗИМОВКИ В САДКАХ И ПРУДАХ

А. А. Лютиков¹, А. Е. Королев¹, А. К. Шумилина¹, М. М. Вылка¹, А. Г. Селюков²,
Е. И. Курдина², Ю. А. Баскакова³, Р. В. Артемов³

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ “Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии” (“ГосНИОРХ” им. Л. С. Берга),
199053, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 26, e-mail: tokmo@mail.ru

² Тюменский государственный университет – ТюмГУ,
625003, г. Тюмень ул. Володарского, 6, e-mail: ags-bios@yandex.ru

³ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
(ФГБНУ “ВНИРО”),

107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, 17, e-mail: protein@vniro.ru

Поступила в редакцию 25.03.2022

Исследования физиологического состояния годовиков и двухгодовиков судака после зимовки в садках рыбоводного хозяйства и прудах показали существенные различия в размерно-массовых, химических, гематологических и гистофизиологических параметрах рыб. Для судаков обоих возрастов достоверные различия наблюдались в виде более высоких значений у заводских рыб индекса печени (1.63 против 1.33% у годовиков и 2.79 против 1.16% у двухгодовиков), полостного жира (0.96 против 0.39% у годовиков и 7.88 против 0.44% у двухгодовиков) и витамина С (76.5 против 18.9% у годовиков и 69.9 против 12.3% у двухгодовиков), а также в смещении баланса жирнокислотного статуса липидов тела в сторону накопления мононенасыщенных жирных кислот – МНЖК (39.61 против 27.47% суммы ЖК у годовиков и 54.34 против 39.90% суммы ЖК у двухгодовиков) и снижении долей физиологически активных кислот ряда n-3 (21.60 против 22.53% суммы ЖК у годовиков и 12.19 против 17.70% суммы ЖК у двухгодовиков), и достоверном снижении гемоглобина (65.2 против 76.5 г/л) и среднего содержания гемоглобина в эритроците – СГЭ (28.4 против 33.9 пиктограмм, пг) у годовиков, и тенденции на снижение этих показателей у двухгодовиков (68.7 против 73.5 г/л гемоглобина и 31.7 против 35.6 пг соответственно). Более выраженные различия исследованных параметров свойственны судакам старшего возраста, содержащихся в заводских условиях, относительно рыб из прудов. Двухгодовики судака, выращенные в садках рыбоводного хозяйства, характеризуются достоверно большими длиной (21.10 против 18.78 см) и массой тела (89.50 против 68.97 г), высоким содержанием липидов тела (8.75 против 2.05%), сухого вещества (30.8 против 23.4%) и безазотистых экстрактивных веществ – БЭВ (4.11 против 1.55%). Кроме того, двухгодовики (самки) из заводских условий имели более развитые гонады при схожем гонадосоматическом индексе с судаками из прудов (0.20 и 0.23 соответственно) – в яичниках заводских рыб наблюдали активное формирование резервного фонда половых клеток и присутствие ооцитов различных размерных групп. Определенные различия у разновозрастных судаков после зимовки в садках рыбоводного хозяйства и прудах связаны с условиями содержания и кормления рыб.

Ключевые слова: судак, *Sander lucioperca*, ремонтно-маточное стадо, индустриальная аквакультура, искусственные корма, пруды, физиологическое состояние, морфофизиология.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-7-25

ВВЕДЕНИЕ

Судак *Sander lucioperca* – ценный промысловый вид, естественный ареал которого ранее охватывал все крупные речные и озерные водоемы Балтийского, Черного, Каспийского и Аральского морей. Акклиматизация и хозяйственная деятельность человека на водных объектах значительно расширили ареал судака в России от Белого моря на западе до бассейна р. Амур на востоке. Вселение в Новосибирское водохранилище позволило судаку прижиться в р. Обь и спуститься до ее низовий – Обской губы, т.е. за Полярный круг [Атлас..., 2002 (Atlas..., 2002)].

В связи с ухудшением экологического состояния естественных водоемов, а также с увеличением промысловой и браконьерской нагрузки наблюдается повсеместное сокращение численности судака [Кудерский, 2000 (Kuderskiy, 2000); Шурухин и др., 2016 (Shurukhin et al., 2016); Горбенко и др., 2019 (Gorbenko et al., 2019); Ruuhijärvi et al., 1996]. Поддержание популяции судака на стабильном уровне за счет естественного воспроизводства в некоторых водоемах уже становится невозможным, что указывает на необходимость использования методов искусственного восполнения природных популяций. Наиболее перспективными

из указанных методов выступают индустриальные технологии с созданием, содержанием и эксплуатацией в заводских условиях маточных стад, от которых можно получать икру, личинок или сеголеток в необходимых для воспроизводства количествах.

Известно, что искусственно выращенные рыбы могут сильно отличаться от рыб, обитающих в естественных условиях или приближенных к ним, например, в прудах, по своим морфофизиологическим [Arechavala-Lopez et al., 2011; Hard et al., 2000; Lyutikov, 2022], химическим [Ackman, Takeuchi, 1986; Alasalvar et al., 2002; Yildiz et al., 2008], гематологическим

[Вылка, 2021 (Vylka, 2021); Fazio et al., 2013; Parrino et al., 2018] и другим параметрам. Подобные различия определяют необходимость в исследовании качественных характеристик искусственно созданных маточных стад и их сравнение с таковыми у диких рыб, параметры которых могут быть использованы как ориентир для объективной оценки физиологического состояния культивируемых объектов.

В настоящей работе приведены результаты исследований физиологического состояния годовиков и двухгодовиков судаков после их зимнего содержания в садках рыбоводного хозяйства и прудах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для выполнения исследований послужили младшие ремонтные группы судака возрастом 1 и 2 года. Одна группа рыб была выращена последовательно в бассейнах и садках рыбоводного хозяйства “Форват” (оз. Суходольское, Приозерский р-н, Ленинградская обл.) с использованием искусственных кормов при естественном температурном режиме воды, другая – в прудах крестьянского прудового рыбоводного питомника К.А. Аверченкова (Приозерский р-н, Ленинградская обл.) на естественном корме.

До зимовки судаков младшего возраста выращивали в индустриальных условиях на искусственных кормах Biomar Inicio Plus

(Дания) с содержанием белка и жира 52–56 и 18–24% соответственно. Указанные показатели варьировали в зависимости от фракции корма, которую увеличивали по мере роста рыб. Старшая возрастная группа получала искусственные экструдированные производственные корма Raisio Royal Hercules (Финляндия), в которых белок составлял 46–48%, жир – 24–26% (по данным фирм-изготовителей). Основными компонентами искусственных кормов являлись рыбная мука, соевый белок, рыбий жир, рапсовое масло и др. Липидный состав кормов (основные жирные кислоты и их группы кислот) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Жирнокислотный состав кормов, используемых в эксперименте, % от суммы ЖК

Table 1. Fatty acid composition of the feeds used in the experiment, % of the amount of fatty acids

Жирные кислоты / Fatty acid	BioMar	Raisio
НЖК	30.95	21.96
МНЖК	29.47	44.10
18:3 n-3 α-линоленовая	1.41	4.54
20:5 n-3 эйкозапентаеновая	8.06	5.74
22:6 n-3 докозагексаеновая	11.05	7.22
n-3 всего	24.01	17.14
18:2 n-6 линолевая	6.41	10.41
20:4 n-6 арахидоновая	1.26	0.31
n-6 всего	11.86	14.81
Σ ПНЖК	35.97	31.95

В заводских условиях сеголеток в период зимовки содержали в садках площадью 25 м² с глубиной погружения 4 м и ячейки дели 8 мм, двухлеток – в аналогичных садках с ячейки дели 12 мм. Учитывая тот факт, что в природе судак является придонным хищником и при содержании в садке держится и питается в нижней его части, фактическую плотность посадки судака целесообразно рассчитывать по придонному слою садка. Для сеголеток плотность посадки в период зимовки составила 29 экз./м², для двухлеток – 24 экз./м².

Продолжительность зимнего содержания младших ремонтных групп судака составляла около 165 сут – с начала декабря по середину апреля (отбор проб проводили 30.03.2021 г.). Рыбу в этот период не кормили. Температура воды в начале периода составляла около 1°C, в подледный период (январь–март) – 0.2°C. Прогрев воды начинался в начале апреля и к середине месяца температура достигала ≥3°C.

Для прудовой зимовки судака использовали пруды площадью от 0.5 до 1.0 га со средней глубиной 1.2 м (максимальная – 2.4 м). Температурный режим зимой был схож с тако-

вым в озере, где располагались садки, в подледный период температура воды составляла 0.4°C. На момент отлова рыб из прудов (9.05.2021 г.) их желудки и кишечника были фактически пустыми, в кишечниках присутствовала желто-зеленая слизь.

Показатели качества воды в озере и прудах в период зимовки рыб соответствовали рыбохозяйственным нормативам (табл. 2).

Таблица 2. Гидрохимические показатели в период зимовки судака в садках и прудах (14.02.2021 г.)

Table 2. Hydrochemical parameters during wintering of pikeperch in cages and ponds (14.02.2021)

Показатель Indicator	Садки Cages	Пруды Ponds
Температура на момент отбора пробы, °C	0.2	0.4
Водородный показатель, ед. pH	6.7	6.8
O ₂ , мг/дм ³	10.8	11.0
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	1.1	2.7
БПК ₂₀ , мг O ₂ /дм ³	2.1	2.2
CO ₂ , мг/дм ³	3.2	4.3
Перманганатная окисляемость, мгО/ дм ³	7.6	4.9
Бихроматная окисляемость, мгО/дм ³	21.0	15.6
Аммонийный азот, мгN/дм ³	0.10	0.05
Нитриты, мгN/дм ³	0.004	0.002
Нитраты, мгNO ₃ /дм ³	1.20	1.07
Железо общее, мгFe/дм ³	0.15	0.13
Фосфаты, мгP/дм ³	0.003	0.003
Кальций, мг/дм ³	3.5	4.9
Магний, мг/дм ³	2.4	2.7
Гидрокарбонатный ион, мг HCO ₃ ⁻ /дм ³	11.2	20.4
Сульфаты, мг/дм ³	10.6	3.3
Хлориды, мг/дм ³	11.5	7.6
Натрий + калий, мг/дм ³	8.9	3.8
Сумма ионов, мг/дм ³	49.6	44.0
Жесткость, ммоль/дм ³	0.368	0.469
Щелочность, ммоль/дм ³	0.184	0.334
Взвешенные вещества, мг/дм ³	0.4	1.2
Цветность, град.	46	25

Аналитическую работу проводили в лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ “ВНИРО” (ГосНИОРХ им. Л. С. Берга), жирнокислотный состав тела рыб определяли в отделе кормов и кормовых компонентов ФГБНУ “ВНИРО”

(Москва), гистологические исследования – на кафедре зоологии и эволюционной экологии животных Тюменского государственного университета. Количество исследованных проб приведено в табл. 3.

Таблица 3. Численность выборок судака каждой возрастной группы для разных видов анализа

Table 3. The number of samples of pikeperch of each age group for different types of analysis

Вид анализа Type of analyses	Кол-во, экз. Quantity, ind.
Морфометрический, морфофизиологический	30
Биохимический	10
Жирнокислотный состав	5
Гистофизиологический	5
Гематологический	10

Морфометрический и морфофизиологический анализ проводили согласно общепринятой схеме измерений окуневых рыб [Правдин, 1966 (Pravdin, 1966)]: измеряли длину до конца чешуйного покрова (l), наибольшую высоту тела (h), определяли массу рыбы и внутренних органов – печени, гонад (для двухгодо-

виков) и массу полостного жира. Коэффициент упитанности рассчитывали как отношение массы к длине тела рыбы до конца чешуйного покрова, возведенной в куб. Индексы внутренних органов – как процентное отношение их массы к массе рыбы.

Методами химического анализа в рыбах определяли относительное содержание влаги, сухого вещества, липидов, белка, минеральных веществ (золы) и безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ). Для определения данных показателей из нескольких образцов рыб готовили интегральную пробу. Содержание липидов определяли по методу Фолча [Folch et al., 1957], содержание белка – методом Кьельдаля, минеральные вещества получали методом сжигания пробы в муфельной печи до белого цвета золы при температуре 550°C, содержание витамина С – модифицированным методом титрования экстракта витамина в соляной кислоте реактивом Тильманса [Князева, 1979 (Knyazeva, 1979)]. Количество БЭВ определяли расчетным путем.

Анализ жирнокислотного состава тела судаков проводили методом газожидкостной хроматографии. Интегральную пробу гомогенизировали с последующим экстрагированием липидов по методу Фолча. Для метилирования жирных кислот использовали хлористый ацетил в метаноле концентрацией 10%. Хроматографическое разделение проводили на хроматографе “Кристалл 5000.2” (“Хроматэк”) с ПИД детектором на капиллярной колонке CR-FAME 100 м × 0.25 мм × 0.2 мкм (“Хроматэк”). Условия разделения: газ-носитель водород, расход 1 мл/мин, температура детектора – 250°C, температура инжектора – 250°C, программируемый температурный режим термостата колонки: (120; 0)(3; 180; 15)(5; 220; 22) °C. Идентификацию метиловых эфиров жирных кислот проводили сравнением со стандартной смесью (Supelco 37 component FAME MIX, каталожный номер Sigma Aldrich CRM47885). Для обработки результатов измерений применяли метод внутренней нормализации.

Гистофизиологический анализ половых желез годовалых и двухгодовалых особей судака проводили по стандартным гистологическим методикам [Лилли, 1969 (Lilli, 1969); Микодина и др., 2009 (Mikodina et al., 2009)]. Зафиксированные участки гонад проводили через спирты возрастающей концентрации, хлороформ; инфильтрация парафином проводила при 37°C в течение суток. Заливку в парафин осуществляли на станции ЕС 350 “Microm”. Парафиновые срезы изготавливали на автоматизированном ротационном микро-

томе HM 355S “Microm”. Полученные серии срезов толщиной 5 мкм окрашивали железным гематоксилином по Гейденгайну и после дегидратации заключали под покровное стекло в среду “Витрогель”. Полученные таким образом гистологические препараты анализировали на микроскопе AxioImager A1 “Zeiss” при увеличении 40×, 100×, 200×, 400× и 1000× с использованием лицензионного программного обеспечения AxioVision 4.7.1. “Zeiss”. Микрофотографии получали с помощью камеры AxioCamMRc5 “Zeiss”.

Для исследования гематологических показателей использовали методики, описанные в “Лабораторном практикуме по физиологии рыб” [Голодец, 1955 (Golodets, 1955)] и “Методических указаниях по проведению гематологического обследования рыб от 02.02.1999 №13-4-2/1487” [Metodicheskie ukazaniya..., 1999]. Кровь отбирали из хвостовой вены.

Гемоглобин определяли методом Сали, подсчет эритроцитов проводили в камере Горяева. Мазки крови фиксировали и окрашивали красителем-фиксатором Май-Грюнвальда и раствором красителя по Романовскому-Гимза в день забора крови по методу Паппенгейма. Среднее содержания гемоглобина в эритроците (СГЭ) рассчитывали через отношение содержания гемоглобина к количеству эритроцитов в пиктограммах (пг). Лейкоциты определяли косвенным методом при подсчете 1000 эритроцитов в 1 мкл крови по формуле $X=(A*B)/1000$, где X – общее количество лейкоцитов в 1 мкл крови, A – число эритроцитов в 1 мкл крови, определенное в камере Горяева, B – число лейкоцитов, обнаруженных при подсчете 1000 эритроцитов на мазке крови.

Процент содержания незрелых эритроцитов определен подсчетом 200 эритроцитов разных стадий зрелости на одном мазке крови. Лейкоцитарная формула выражена в процентном отношении голаядерных и больших лимфоцитов, нейтрофилов, моноцитов при подсчете 200 лейкоцитов на каждом мазке, классификация клеток основана на сравнительной морфологии и классификации форменных элементов крови рыб Ивановой [1983 (Ivanova, 1983)].

Данные представлены в виде средних значений и их ошибок ($M \pm m$). Достоверность различий оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента при $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Биологическая характеристика ремонтных групп судака после зимовки в садках и прудах представлена в таблице 4. Размерно-весовые показатели годовиков имеют близкие

значения. Достоверная разница отмечена для показателей индексов печени (1.63 против 1.33%) и полостного жира (0.96 против 0.39%),

которые больше у судаков, содержащихся в садках.

Сравнение морфофизиологических показателей двухгодовиков из садков и прудов указывает на повышение темпа роста заводских рыб относительно прудовых, что выражается в увеличении показателей средней массы (89.50 против 68.97 г) и длины тела судаков (21.10 против 18.78 см соответственно). Индексы печени и полостного жира у рыб из садков в 2.4 и 18 раз, также, выше, чем у содержащихся в прудах – 2.79 против 1.16% и 7.88 против 0.44% соответственно.

Таблица 4. Биологические показатели ремонтных групп судака в возрасте 1 и 2 года в конце зимнего содержания в садках и прудах

Table 4. Biological parameters of pikeperch broodstocks at the age of 1 and 2 years at the end of winter keeping in cages and ponds

Показатель Indicator	Садки Cages	C_v , %	Пруды Ponds	C_v , %
<i>Годовики</i>				
Масса, г	9.95±0.66 ^a	14.8	10.60±1.16 ^a	33.3
Длина тела (<i>l</i>), см	10.38±0.19 ^a	4.1	10.55±0.39 ^a	7.4
Высота тела (<i>h</i>), см	1.92±0.06 ^a	6.8	1.80±0.07 ^a	7.9
Коэффициент упитанности (Fu)	0.88±0.02 ^a	5.5	0.88±0.04 ^a	9.3
Индекс печени, %	1.63±0.02 ^a	2.5	1.33±0.03 ^b	4.2
Индекс полостного жира, %	0.96±0.11 ^a	26.1	0.39±0.16 ^b	82.3
<i>Двухгодовики</i>				
Масса, г	89.50±3.50 ^a	6.8	68.97±5.71 ^b	16.6
Длина тела (<i>l</i>), см	21.10±0.23 ^a	1.9	18.78±0.49 ^b	5.2
Высота тела (<i>h</i>), см	4.30±0.06 ^a	2.3	3.55±0.12 ^b	6.7
Коэффициент упитанности (Fu)	0.95±0.02 ^a	3.3	1.03±0.02 ^b	3.8
Индекс печени, %	2.79±0.25 ^a	15.4	1.16±0.03 ^b	5.7
Индекс полостного жира, %	7.88±0.56 ^a	12.3	0.44±0.04 ^b	20.1
Гонадосоматический индекс, %	0.20±0.03 ^a	28.2	0.23±0.03 ^a	30.0

Примечание. Здесь и далее – C_v – коэффициент вариации признака; значения с различными буквенными индексами имеют достоверные различия при уровне значимости $p \leq 0.05$.

Note. Here and below, C_v is the trait coefficient of variation; values with different letter indexes have significant differences at the significance level $p \leq 0.05$.

Химический состав тела годовиков судака из садков и прудов после зимовки достаточно однородный и достоверно отличается только содержанием витамина С, которого в теле рыб из садков в 4 раза больше, чем у прудовых – 76.5 и 18.9 мкг/г соответственно (табл. 5).

Различия химического состава двухгодовиков более значительны и выражаются в достоверно большем содержании в теле судаков, зимовавших в садках, по сравнению с рыбами из прудов, сухого вещества (30.8 против 23.4% соответственно), жира (8.75 против 2.05%), БЭВ (4.1 против 1.6%) и витамина С (69.9 против 12.3 мкг/г).

Жирнокислотный состав липидов тела судака из заводских условий и прудов имел

Коэффициент упитанности годовиков судака из прудов сопоставим с таковым у заводских рыб (0.88), и достоверно больше у двухгодовиков (0.95 и 1.03).

Увеличенная печень и наличие большого количества висцерального жира у выращенных в садках рыб является признаком ожирения, тем не менее, схожий с прудовыми двухлетками показатель гонадосоматического индекса (0.20 и 0.23% соответственно) косвенно указывает на нормальный ход развития гонад у судака из аквакультуры.

определенные отличия вне зависимости от возраста рыб. Судаки из садков по сравнению с прудовыми рыбами характеризовались меньшим содержанием насыщенных жирных кислот (НЖК), занимающих наименьшую долю в составе общих липидов – у годовиков 27.33 против 34.18%, у двухгодовиков 17.11 против 27.76% соответственно, и большей долей мононенасыщенных (МНЖК), выступающих доминирующей группой ЖК – 39.61 против 27.47% у годовиков и 54.34 против 39.90% суммы ЖК у двухгодовиков соответственно (табл. 6).

Среди НЖК липидов судака из разных условий содержания преобладала пальмитиновая кислота (16:0) – 18.61% у годовиков и 12.87% у двухгодовиков из садков соответ-

венно, и 18.82 и 17.43% суммы ЖК у годовиков и двухгодовиков из прудов. У МНЖК преобладала олеиновая кислота (18:1n-9), которой было в 1.6–1.7 раза больше в липидах тела рыб аквакультурного происхождения – у годовиков 26.43%, у двухгодовиков 46.31% соответственно, против 15.59 и 28.39% суммы ЖК у го-

довиков и двухгодовиков из прудов. Также существенную долю в МНЖК занимала пальмитолеиновая кислота (16:1n-7), имеющая близкие значения у заводских и прудовых годовиков – 9.68 и 8.58% соответственно, и двухгодовиков – 4.76 и 6.85% суммы ЖК.

Таблица 5. Химический состав тела судаков из разновозрастных ремонтных групп в конце зимнего содержания в садках и прудах (зола, белок и липиды были определены в сыром веществе)

Table 5. Chemical composition of pikeperch body from broodstocks of different ages at the end of winter keeping in cages and ponds (ash, protein and lipids were determined in the raw material)

Показатель / Indicator	Садки / Cages	Сv, %	Пруды / Ponds	Сv, %
<i>Годовики</i>				
Влага, %	74.8±0.12 ^a	0.3	74.4±0.6 ^a	1.4
Сухое вещество, %	25.2±0.12 ^a	0.8	25.6±0.62 ^a	4.2
Липиды, %	2.57±0.48 ^a	32.1	2.40±0.53 ^a	38.2
Белок, %	16.66±0.41 ^a	4.3	16.65±0.39 ^a	4.0
Зола, %	4.35±0.21 ^a	8.3	4.65±0.01 ^a	0.4
БЭВ	1.62±0.15 ^a	16.4	1.86±0.10 ^a	6.4
Витамин С, мкг/г	76.5±4.11 ^a	9.3	18.9±1.02 ^b	9.4
<i>Двухгодовики</i>				
Влага, %	69.2±1.0 ^a	2.5	76.6±0.3 ^b	0.8
Сухое вещество, %	30.8±0.99 ^a	5.6	23.4±0.30 ^b	2.6
Липиды, %	8.75±0.79 ^a	15.6	2.05±0.06 ^b	6.2
Белок, %	15.07±0.51 ^a	5.8	16.61±0.27 ^a	3.3
Зола, %	2.86±0.31 ^a	18.6	3.16±0.29 ^a	18.3
БЭВ	4.11±0.5 ^a	22.1	1.55±0.3 ^b	35.1
Витамин С, мкг/г	69.9±1.45 ^a	3.6	12.3±0.67 ^b	11.0

Таблица 6. Жирнокислотный состав липидов тела судака разного возраста после зимовки в прудах и садках, % суммы ЖК

Table 6. Fatty acid composition of lipids in the body of pikeperch of different ages after wintering in ponds and cages, % of the total fatty acids

Жирные кислоты Fatty acids		Годовики / Yearlings		Двухгодовики / Two year olds	
		Садки Cages	Пруд Ponds	Садки Ponds	Пруд Ponds
НЖК	13:0	–	0.34	–	0.13
	14:0	5.57	2.80	2.27	2.56
	15:0	0.44	5.57	0.21	1.43
	16:0	18.61	18.82	12.87	17.43
	17:0	–	1.60	0.04	1.08
	18:0	2.23	4.24	1.25	3.61
	20:0	–	–	0.12	0.23
	21:0	0.13	–	0.23	0.22
	24:0	0.35	0.81	0.12	1.07
	Σ	27.33	34.18	17.11	27.76
МНЖК	14:1	–	0.55	0.07	0.58
	16:1n-7	9.68	8.58	4.76	6.85
	17:1	–	2.38	0.21	0.90
	18:1n-7	0.64	–	0.24	–
	18:1n-9	26.43	15.59	46.31	28.39
	20:1	2.03	0.37	1.51	0.99
	22:1n-9	0.83	–	0.09	0.24
	24:1	–	–	1.15	1.95
Σ	39.61	27.47	54.34	39.90	
ПНЖК	18:3n-3 (АЛК)	1.87	6.28	5.42	6.13
	20:3n-3	–	–	0.11	0.21
	20:5n-3 (ЭПК)	7.34	9.23	2.11	4.28
	22:6n-3 (ДГК)	12.39	7.02	4.55	7.08

Жирные кислоты Fatty acids		Годовики / Yearlings		Двухгодовики / Two year olds	
		Садки Cages	Пруд Ponds	Садки Ponds	Пруд Ponds
n3 всего		21.60	22.53	12.19	17.70
18:2n-6 (ЛК)		10.01	5.91	15.92	9.95
20:3n-6		0.10	–	0.10	0.19
20:4n-6 (АРК)		1.34	9.89	0.35	4.50
n6 всего		11.45	15.80	16.37	14.64
Σ ПНЖК		33.05	38.33	28.56	32.34
Σ n-3/ Σ n-6 ПНЖК		1.88	1.43	0.75	1.21
18:3n-3/18:2n-6		0.19	1.06	0.34	0.62
22:6n-3/20:5n-3		1.69	0.76	2.16	1.65
16:0/18:1n-9		0.70	1.21	0.28	0.61

Примечание. НЖК, МНЖК, ПНЖК – соответственно насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты; “–” – <0.05%.

Note. SFA, MUFA, PUFA – respectively saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids; “–” – <0.05%.

Сравнивая спектры предельноненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) судака, можно констатировать пониженное содержание у заводских рыб, относительно прудовых, как суммарных ПНЖК (33.05 против 38.33% суммы ЖК у годовиков, и 28.56 против 32.34% у двухгодовиков соответственно), так и n-3 ПНЖК (21.60 против 22.53% суммы ЖК у годовиков, и 12.19 против 17.70% у двухгодовиков соответственно). В случае с кислотами n-3 ряда судак из заводских условий уступал прудовой молодежи по содержанию незаменимой материнской α-линоленовой кислоты (18:3n-3 (АЛК)) – 1.87 против 6.28% суммы ЖК у годовиков, и 5.42 против 6.13% у двухгодовиков соответственно, и эйкозапентаеновой кислоты (20:5n-3 (ЭПК)) – 7.34 против 9.23% суммы ЖК у годовиков, и 2.11 против 4.28% у двухгодовиков соответственно. Докозагексаеновая кислота (22:6n-3 (ДГК)) преобладала в липидах заводских годовиков, относительно прудовых (12.39 против 7.02% суммы ЖК), в то время как у двухгодовиков из садков имела меньшее значение (4.55 против 7.08% суммы ЖК).

Сумма кислот n-6 ряда была выше в теле рыб первого года жизни, культивируемых в прудах – 15.80 против 11.45% суммы ЖК, тогда как у двухлеток судака сумма этих кислот имела большее значение у заводских рыб – 16.37 против 14.64% суммы ЖК. При этом у судаков обоих возрастов доля материнской кислоты n-6 семейства – линолевой (18:2n-6 (ЛК)), преобладала в теле рыб из садков – 10.01 против 5.91% суммы ЖК у годовиков и 15.92 против 9.95% у двухгодовиков соответственно. Метаболическая производная линолевой ЖК – арахидоновая (20:4n-6 (АРК)), напротив, имела большее значение у прудовых рыб – 9.89 против 1.34% суммы ЖК у годовиков, и 4.55 против 0.35% у двухгодовиков соответственно.

В целом жирнокислотный состав тела заводских рыб соответствовал таковому в кормах, что подтверждается статистическим анализом – корреляционная зависимость (r) у годовиков равняется 0.95, двухгодовиков – 0.96.

Гематологические показатели судаков, представленные в таблице 7, достаточно однородны вне зависимости от условий содержания – достоверные отличия наблюдались у годовиков по содержанию гемоглобина в крови – 65.2 г/л у рыб из садков и 76.5 г/л у прудовых рыб, и среднему содержанию гемоглобина в эритроците (СГЭ) – 28.4 и 33.9 пг соответственно. У двухгодовиков достоверные различия определены только доля больших, или незрелых, эритроцитов крови, имеющие большее значение у заводских рыб, чем у прудовых – 7.3 против 2.9% соответственно.

Проведенные гистофизиологические исследования гонад двухгодовиков самцов судака, зимовавших в заводских условиях и прудах, указывают на схожесть в их развитии. Семенники исследованных рыб находились в начале IV стадии зрелости, семенные каналы заполнены массой сперматид и редкими спермиями, в стенках каналов встречаются сперматогонии. В гонадах некоторых самцов присутствуют тяжи соединительной ткани – формируется рубец.

У самок судака в возрасте 2 года, зимовавших в садках и прудах, яичники находились на II стадии зрелости. В гонадах заводских самок среди превителлогенных ооцитов формировался резервный фонд половых клеток – оогоний и ооцитов ранней профазы мейоза (рис. 1).

У самок из прудов в гонадах встречались отдельные группы превителлогенных ооцитов, разделенных разросшейся соединительной тканью, местами эти фиброзные образования замещали генеративную ткань. Пополнения

резервного фонда половых клеток в таких яичниках не выявлены. Превителлогенные ооциты

представлены клетками мелких и средних размеров (рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Отсутствие различий в размерно-весовых параметрах годовиков судака после зимовки в прудах в сравнении с заводскими рыбами указывает на благоприятные условия для нагула молоди в пруду в летний период. Напротив, отставание в росте прудовых двухгодовиков относительно заводских рыб, веро-

ятно, связано с недостаточным количеством подходящего для них корма. На снижение ростовых показателей старших ремонтных групп судака в прудах в отсутствие доступных по размеру рыб-жертв указывают и другие авторы [Полтавчук, 1965 (Poltavchuk, 1965); Михеев и др., 1970 (Mikheev et al., 1970); Steffens, 1996].

Таблица 7. Гематологические показатели годовиков и двухгодовиков судака после зимовки в прудах и садках

Table 7. Hematological parameters of one-year-old and two-year-old pikeperch after wintering in ponds and cages

Показатель / Indicator	Садки / Cages	Cv, %	Пруды / Ponds	Cv, %
<i>Годовики</i>				
Гемоглобин, г/л	65.2±2.5 ^a	8.6	76.5±1.5 ^b	3.9
СГЭ *, пг	28.4±1.7 ^a	13.7	33.9±1.0 ^b	6.0
Эритроциты, млн./мкл	2.3±0.1 ^a	7.6	2.3±0.1 ^a	9.5
Незрелые эритроциты, %	4.6±0.6 ^a	28.1	3.6±0.6 ^a	30.6
Лейкоциты, тыс./мкл	36.7±2.8 ^a	17.0	32.6±5.6 ^a	34.2
Лимфоциты, %	89.9±1.8 ^a	4.4	82.3±4.1 ^a	9.9
Большие (незрелые) лимфоциты, %	6.1±1.1 ^a	42.0	8.4±0.6 ^a	13.2
Нейтрофилы, %	0.4±0.3 ^a	163.0	0.1±0.1 ^a	200.0
Моноциты, %	3.6±0.6 ^a	36.0	9.3±4.1 ^a	88.3
<i>Двухгодовики</i>				
Гемоглобин, г/л	68.7±0.7 ^a	1.7	73.5±2.4 ^a	6.4
СГЭ, пг	31.7±1.8 ^a	10.1	35.6±1.9 ^a	10.4
Эритроциты, млн./мкл	2.2±0.1 ^a	8.0	2.1±0.1 ^a	7.5
Незрелые эритроциты, %	3.2±0.2 ^a	9.1	3.3±0.5 ^a	29.5
Лейкоциты, тыс./мкл	50.9±9.0 ^a	30.6	33.7±6.0 ^a	35.5
Лимфоциты, %	84.5±1.0 ^a	2.0	84.9±2.2 ^a	5.3
Большие (незрелые) лимфоциты, %	7.3±1.9 ^a	43.8	2.9±1.4 ^b	50.0
Нейтрофилы, %	0.3±0.2 ^a	86.6	0.3±0.1 ^a	115.5
Моноциты, %	7.8±1.5 ^a	32.8	12.0±1.8 ^a	30.6

Примечание. “*” – СГЭ – среднее содержание гемоглобина в эритроците (пиктограммы, пг).

Note. “*” – СГЭ – the average content of hemoglobin in an erythrocyte (pictograms, pg).

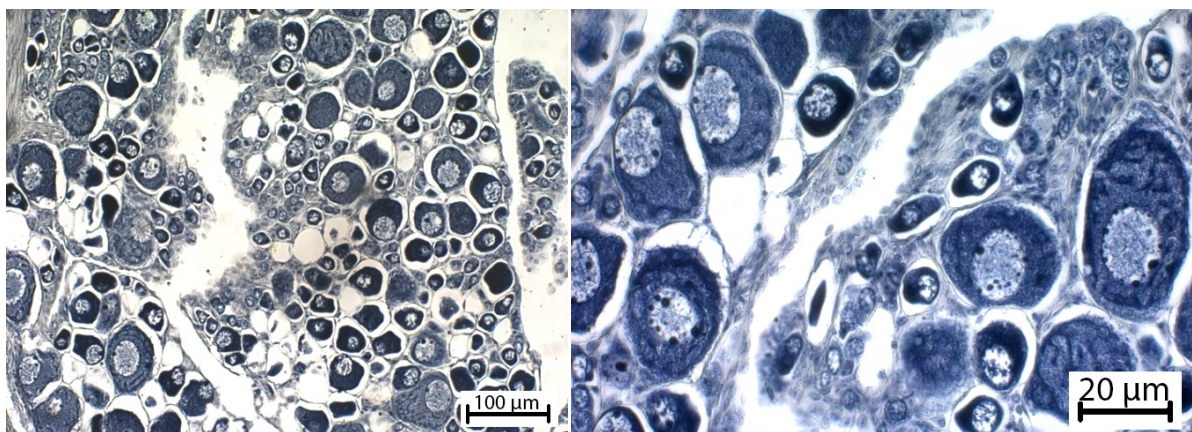


Рис. 1. Участок яичника II стадии зрелости судака из садков. Слева – старшая генерация ооцитов 3 размерной группы, между ними присутствуют многочисленные гнезда половых клеток резервного фонда. Справа – то же крупным планом. Между превителлогенными ооцитами присутствуют многочисленные гнезда оогониев и ооцитов ранней профазы мейоза, происходит активное пополнение очередных генераций.

Fig. 1. Section of ovary in stage II of maturity of pikeperch from cages. On the left – the oldest generation of oocytes of the size group 3, between them there are numerous nests of germ cells of the reserve fund. On the right – the same close-up. Numerous nests of oögonia and oocytes of the early prophase of meiosis are present between previtellogenic oocytes, and the next generations are actively replenished.

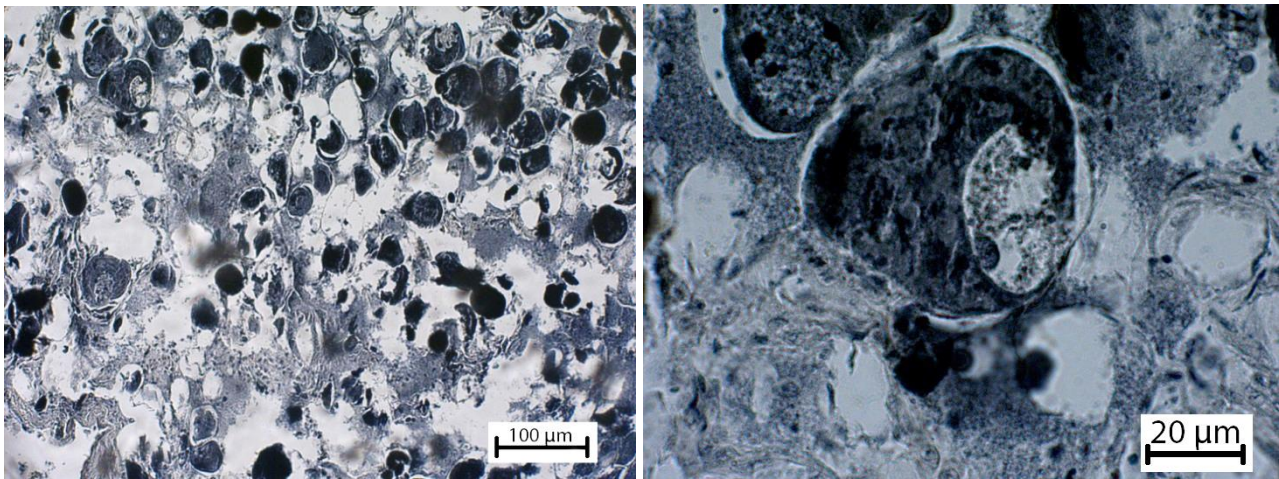


Рис. 2. Участок яичника II стадии зрелости судака из прудов. Слева – превителлогенные ооциты представлены отдельными группами, разделенными соединительнотканскими образованиями, соединительная ткань замещает генеративную. Превителлогенные ооциты мелких и средних размеров. Справа – то же крупным планом. Превителлогенные ооциты разделены соединительнотканскими тяжами, пополнение резервного фонда половых клеток отсутствует.

Fig. 2. Section of ovary in stage II of maturity of pikeperch from ponds. On the left – previtellogenic oocytes are represented by groups separated by connective tissue formations, connective tissue replaces generative. Previtellogenic oocytes of small and medium size. On the right – the same close-up. Previtellogenic oocytes are separated by connective tissue strands; there is no replenishment of the reserve fund of germ cells.

В отличие от прудовых рыб, выросших на естественной пище, судаки в заводских условиях получали искусственные форелевые корма с большим содержанием жира – 18–24% для годовиков и 24–26% для двухгодовиков. Так как липиды в организме гидробионтов главным образом образуются из жиров, поступающих с пищей [Sargent et al., 1993; Alasalvar et al., 2002; Datsomor et al., 2019], использование высококалорийных диет в нашем опыте привело к чрезмерному накоплению полостного жира у культивируемых в заводских условиях рыб, которого у двухгодовиков было в 18 раз больше, чем у одновозрастных рыб из прудов. Избыток жира в организме заводских рыб данного возраста привел к увеличению размеров печени, индекс которой был более чем в два раза больше, чем у прудовых рыб, что свидетельствует о накоплении липидов в печени судаков, получавших избыточное кормление или высококалорийные диеты. Наши данные согласуются с работой зарубежных авторов, в которой гепатосоматический индекс судака, получавшего жирные коммерческие корма, был в 1.8 раза больше, чем у диких рыб – 2.0 против 1.1 соответственно [Schulz, Bódis, 2008]. У других видов рыб, выращиваемых на искусственных диетах, также наблюдается повышение индекса печени по отношению к диким рыбам, например у форели *Oncorhynchus mykiss* [Roh et al., 2020], желтого горбыля *Pseudosciaena crocea* [Wang et al., 2015], скалозуба *Takifugu rubripes* [Kikuchi et al., 2009]. Для некоторых из пере-

численных выше видов рыб по данным гистологического анализа показано, что у перекормленных особей вакуолизированные клетки печени содержали более крупные отложения липидов в цитоплазме по сравнению с рыбами контрольной группы. Стоит полагать, что в нашем опыте у судака, выращенного на высококалорийных кормах, в печени происходили схожие процессы, на что косвенно указывают физические свойства органа – у рыб из садков печень имела песочный цвет, рыхлую структуру и увеличенные размеры, в то время как у прудовых рыб печень имела красно-бурый цвет и плотную структуру. На отечность и побледнение, как признаки жировой дегенерации печени, указывали западные исследователи при выращивании высокотелой лакедры *Seriola dumerili* с использованием искусственных диет [Rodriguez-Barreto et al., 2012].

Химический состав тела годовиков, выращенных в разных условиях, имеет схожие параметры, что, в том числе, говорит о хороших условиях нагула судаков в прудах и садках. Исключением явился витамин С, уровень которого в теле заводских рыб был в 4 раза больше, чем прудовых.

У двухгодовиков различия в химическом составе более значимые и выражаются, в первую очередь, в повышенной (в 4.3 раза) жирности тела рыб из садков, по отношению к прудовым рыбам, что согласуется с данными зарубежных исследователей. Так, например, о более чем трехкратном увеличении жирно-

сти тела судака, культивируемого на искусственных форелевых кормах с содержанием жира 11%, по сравнению с прудовыми рыбами, отмечала Янковска с соавторами [Jankowska et al., 2003]. В целом, избыточное накопление жиров в теле в результате применения искусственных диет, свойственно и другим видам культивируемых рыб – желтому или американскому окуню *Perca flavescens* [Gonzalez et al., 2006], форели [Fallah et al., 2011], лососю *Salmo salar* [Johnston et al., 2006], щуке *Esox lucius* [Jankowska et al., 2008], сенегальской камбале *Solea senegalensis* [Norambuena et al., 2012] и др.

Повышение жирности тела у заводских рыб в нашем опыте приводило к снижению влажности (до 69.2 против 76.6% у прудовых рыб), что указывает на обратную корреляцию между содержанием влаги и липидов в мышечной ткани. Подобная зависимость показана на других видах рыб, в том числе на судаке [Костылева, Флерова, 2015 (Kostyleva, Flerova, 2015); Jankowska et al., 2003; Ljubojevic et al., 2013].

Несмотря на значительные различия в содержании липидов тела, белково-минеральная составляющая рыб, выращенных в различных условиях, не была подвержена существенным изменениям – достоверных отличий по содержанию белка (15.07–16.61%) и золы (2.86–3.16%) у двухгодовиков судака из прудов и садков в нашем опыте не отмечено. Схожие показатели в теле белка и золы были получены на сеголетках судака, выращенных с применением коммерческих кормов – 17.3 и 3.5% соответственно [Schulz, Bódis, 2008].

Содержание БЭВ у заводских рыб в возрасте 2 года было в 2.6 раза больше, чем у одновозрастных рыб из прудов. Вероятно, повышенный уровень БЭВ у рыб, выращенных в индустриальных условиях, обусловлен чрезмерным накоплением у них полостного жира, что требует дополнительных исследований. 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]. На повышение глюкозы в плазме крови указывают зарубежные авторы, исследовавшие корма различной жирности при выращивании скалозуба – использование корма с 26% жира повышало уровень глюкозы в плазме до 99 мг/100 мл, против 45.3 мг/100 мл у рыб, получавших корма с 6% жира [Kikuchi et al., 2009].

Содержание витамина С в теле двухгодовиков из прудов, как и в случае с годовика-

ми, было значительно меньше (более чем в 5.5 раз), чем у одновозрастных рыб, выращенных в садках. На низкое содержание витамина у судаков из прудов в осенний период, по сравнению с заводскими рыбами, мы обращали внимание ранее. Так у сеголеток, выращенных в прудах, содержание витамина С в теле составляло 22–25 мкг/г, у судаков из садков – 45–57 мкг/г [Лютиков, Королев, 2020, 2021 (Lyutikov, Korolyov, 2020, 2021)]. Однако стоит отметить, что содержание витамина С у молоди из прудов снижается по мере их роста – от 70–82 мкг/г в возрасте 30–49 сут до 22–23 мкг/г в возрасте 145–152 сут. Подобное снижение витамина в теле молоди может быть связано с голоданием, вызванным выеданием зоопланктона и зообентоса, а также массовым вылетом имаго насекомых, наблюдающимся в прудах Северо-Запада России к середине июля, что приводит к депрессии кормовой базы [Королев, 1984 (Korolyov, 1948)]. Другой причиной снижения витамина С у прудовой молоди по мере ее роста может быть как смена кормовых организмов, так и изменение их питательной ценности.

С диетами прудовых и заводских рыб также связаны различия их жирнокислотного статуса, что подтверждается высокой корреляционной зависимостью (г) липидов тела судака от жирнокислотного состава кормов – 0.95 у годовиков и 0.96 двухгодовиков. На зависимость жирнокислотного состава липидов культивируемых объектов от искусственных диет мы обращали внимание ранее при исследовании икры муксуна *Coregonus muksun*, полученной от производителей, выращенных в заводских условиях, чей жирнокислотный статус коррелировал с жирнокислотным составом липидов корма при $r = 0.97$ [Lyutikov, 2022].

Использование коммерческих кормов при выращивании судаков в садках привело к увеличению в липидах рыб долей олеиновой и линолевой кислот, которых в среднем в 1.66 и 1.65 раза больше соответственно, чем у судаков из прудов (вне зависимости от возраста рыб). Повышение уровня содержания указанных кислот связано с использованием в коммерческих искусственных кормах рапсового масла, в котором на долю 18:1n-9 приходится до 60% суммы ЖК, на 18:2n-6 – около 20% суммы ЖК [Остриков и др., 2016 (Ostrikov et al., 2016)].

Повышение доли 18:2n-6 в липидах тела заводских рыб, сделало эту кислоту наиболее представительной среди n-6 ЖК – 88% от суммы n-6 ЖК у годовиков и 98% от суммы n-6 ЖК у двухгодовиков. У прудовых рыб на долю

линолевой кислоты приходится 37% от суммы n-6 ЖК у годовиков и 68% от суммы n-6 ЖК у двухгодовиков. Повышение доли линолевой кислоты у судака старшего возраста в прудах вероятно связано с его переходом на питание молодью карповых рыб (каrp *Cyprinus carpio*, плотва *Rutilus rutilus*), значительную долю рациона которых может составлять растительная пища, что определяет накопление в липидах тела карповых линолевой кислоты (до 15% от суммы ЖК [Steffens, Wirth, 2007]).

Несмотря на относительно большие значения линолевой кислоты в липидах тела заводских рыб, ее метаболическая производная – арахидоновая кислота, находилась на низком уровне – 1.34% суммы ЖК у годовиков и 0.35% суммы ЖК у двухгодовиков. Учитывая высокую биологическую активность 20:4n-6 в репродуктивных процессах рыб и ее направленное накопление в гонадах [Bell, Sargent, 2003], интересным представляется снижение этой кислоты у судаков из садков и прудов по мере их роста. Особенно мало 20:4n-6 в липидах индустриальных двухгодовиков, чьи гонады находятся в процессе активного развития – у самцов семенники находятся на IV стадии зрелости, у самок отмечена II стадия с формированием резервного фонда половых клеток. Незначительное присутствие арахидоновой кислоты у судака из садков можно связать с ее низким содержанием в искусственных кормах, применяемых в нашем опыте – до 1.26% суммы ЖК (см. табл. 1), и, вероятно, также с низкой интенсивностью преобразования 20:4n-6 из материнской 18:2n-6 в организме судака.

В липидах рыб из прудов арахидоновая кислота занимает существенно бóльшие доли в сумме ЖК, чем у заводских особей, и составляет у годовиков 9.89%, у двухгодовиков 4.50%. Снижение долей 20:4n-6 в липидах прудовых двухгодовиков, относительно рыб младшего возраста, как и в случае с витамином С, может быть связано со сменой рациона растущих рыб.

Прочие физиологически активные жирные кислоты – кислоты группы n-3 ПНЖК, – α -линоленовая, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая, в большей степени были представлены в липидах судаков из прудов (см. табл. 6). Исключением явилась доля 22:6n-3 у годовиков, которая была в 1.8 раза больше у садковых рыб, чем у одновозрастной прудовой молодежи. Сумма n-3 ПНЖК у годовиков из садков и прудов имела близкие значения – 21.60 и 22.53% от суммы ЖК соответственно, в то время как у двухгодовиков доля n-3 была

меньше у заводских рыб – 12.19% от суммы ЖК против 17.70% у прудовых.

На снижение в липидах заводских двухгодовиков доли жирных кислот n-3 ряда могло повлиять накопление у рыб большого количества полостного, или резервного, жира – триацилглицеринов, представленного в значительной степени насыщенными и мононенасыщенными жирными кислотами [Ржавская, 1976 (Rzhavskaya, 1976); Остроумова, 2012 (Ostroumova, 2012)]. Сумма этих кислот у двухгодовиков судака составляла 71.5% от всех липидов тела, при этом на олеиновую кислоту приходилось 46.3% от суммы ЖК, что является наибольшими показателями в эксперименте. Избыток олеиновой кислоты определил преобладание МНЖК в липидах заводских двухгодовиков судака, что в целом свойственно рыбам, культивируемым на искусственных коммерческих кормах [Alasalvar et al., 2002; Janowska et al., 2008; Fuentes et al., 2010; Norambuena et al., 2012].

Снижение суммарной доли n-3 и повышение доли 18:2n-6 у двухлеток судака из индустриальных условий привело к снижению индекса n-3/n-6 ПНЖК до 0.75, в то время как у прудовых двухлеток этот индекс равен 1.21. В свою очередь, увеличение доли линолевой кислоты 18:2n-6 послужило значительному снижению индекса соотношения эссенциальных ЖК 18:3n-3/18:2n-6 у заводских рыб – 0.19 у годовиков и 0.34 у двухгодовиков, против 1.06 и 0.62 у прудовых рыб этого же возраста соответственно. Также заводские рыбы характеризовались относительно низкими индексами отношения наиболее представительных насыщенных и ненасыщенных кислот – 16:0/18:1n-9, которые составляли 0.70 у годовиков и 0.28 у двухгодовиков, против 1.21 и 0.61 у прудовых рыб первого и второго года жизни соответственно. Данные различия в указанных индексах можно связать с последствиями от использования в искусственных кормах растительных масел (см. Материал и методику), повышающих содержание олеиновой и линолевой кислоты в кормах, и, как следствие, в липидах заводских рыб. Приведенные выше индексы характеризуют в том числе ход и направленность реакций, и интенсивность процессов липидного обмена организма [Nefedova et al., 2020], что указывает на его нарушение у судаков, культивируемых на искусственных кормах.

Напротив, индекс соотношения эссенциальных ПНЖК 22:6n-3/20:5n-3, отражающий, в том числе, физиологическое состояние и жизнестойкость рыб [Bell et al., 1997], был

выше у судаков из садков – 1.69 у годовиков и 2.16 у двухгодовиков, против 0.76 и 1.65 у одновозрастных рыб из прудов соответственно.

Еще один показатель, характеризующий разнообразие жирнокислотного состава животных и выражающийся в сумме долей наиболее представительных жирных кислот – 16:0, 18:1n-9, 22:6n-3 и 18:2n-6 [Lyutikov, 2022], был существенно больше у заводских рыб, чем у прудовых – 67.4 против 47.3 у годовиков, и 79.6 против 62.9 у двухгодовиков соответственно.

По гематологическим показателям прудовые рыбы также имели некоторые отличия относительно заводских, и характеризовались меньшим содержанием гемоглобина в крови (65.2–68.7 против 73.5–76.5 г/л) и в самих эритроцитах (28.4–31.7 против 33.9–35.6 пг). У годовиков разница в указанных показателях достоверна, а у двухгодовиков наблюдается тенденция к их снижению у заводских рыб. Несмотря на некоторое снижение гемоглобина в крови у судаков из промышленных условий, его уровень находился в пределах нормы, определенной для диких рыб этого вида, у которых гемоглобин в крови был в диапазоне 67–71 г/л [Jankowska et al., 2003]. Снижение гемоглобина у объектов аквакультуры относительно диких рыб установлено, например, на лососе [Остроумова, 1966 (Ostroumova, 1966)] и карпе [Головина, 1996 (Golovina, 1996)]. По мнению некоторых авторов, падение уровня гемоглобина связано со снижением интенсивности обменных процессов у культивируемых рыб в связи с уменьшением их двигательной активности в промышленных условиях [Остроумова, 1966 (Ostroumova, 1966)]. Однако в нашем исследовании кровь у рыб отбирали после зимовки. Как в прудах, так и садках, в зимний период температура воды находилась в пределах 0.2–1.0°C, что определяет низкую активность зимующих рыб. Учитывая сходство основных гидрохимических параметров (температурный режим, содержание кислорода, кислотность, минерализация и др.) прудов и оз. Суходольского (см. табл. 2), стоит полагать, что на снижение гемоглобина в крови судаков из заводских условий могло повлиять их физиологическое состояние – в частности избыточное содержание жира. Снижение гемоглобина в крови рыб как следствие накопления чрезмерного количества жира в теле было отмечено для скалозуба [Kikuchi et al., 2009], но не определено для форели [Roh et al., 2020].

Несмотря на некоторое снижение гематологических показателей у выращенных на искусственных кормах рыб, патологических

отклонений в красной крови (анизацитоз, пойкилоцитоз и др.) не наблюдалось. В пользу этого говорит нормальное количество эритроцитов в крови у всех исследованных судаков – 2.1–2.3 млн/мкл, что соответствует диким особям [Пучков, 1954 (Puchkov, 1954)].

Как показывают предыдущие исследования, пониженное содержание гемоглобина у судаков из садков при одинаковом уровне эритроцитов с прудовыми рыбами вызвано увеличением ядра и снижением объема цитоплазмы в эритроцитах крови заводских рыб, что ограничивает перенос кислорода [Вылка, 2021 (Vylka, 2021)].

Достоверным отличием в структуре белой крови было большее количество больших (или незрелых) лимфоцитов у двухлеток судака из садков – 7.3 против 2.9% у одновозрастных рыб из прудов. Однако существенного влияния на физиологическое состояние судаков подобное увеличение незрелых лимфоцитов не оказывает из-за отсутствия функциональных отличий между двумя группами лимфоцитов – есть предположение, что одна группа лимфоцитов является предшественником другой [Житинева и др., 2004 (Zhitineva et al., 2004)].

В крови заводских рыб наблюдается тенденция к повышению лимфоцитов и лейкоцитов – у годовиков доля лимфоцитов в крови составляла 95.0%, из прудов – 90.7%, у двухгодовиков 91.8 против 87.8% соответственно. Лейкоциты в крови заводских годовиков имели значение 36.7 против 32.6 тыс./мкл у прудовых рыб, у двухгодовиков – 50.9 против 33.7 тыс./мкл соответственно. Выработка облучаемых элементов крови связана с защитным механизмом и иммунологическими ответами организма против инфекционных заболеваний и токсического воздействия [Кузина, 2009 (Kuzina, 2009); Movahed et al., 2015], и в промышленных условиях может стимулироваться высокими плотностями посадки и использованием искусственных кормов, в составе которых присутствуют компоненты, не свойственные рациону судака в природе.

Моноциты заводских рыб, напротив, имели тенденцию к снижению, относительно судаков из прудов – 3.6 против 9.3 у годовиков, и 7.8 против 12.0 у двухгодовиков. Подобную картину мы наблюдали ранее на сеголетках судака, культивируемых в промышленных условиях [Лютиков, Королев, 2021 (Lyutikov A.A., Korolev A.E., 2021)]. Снижение моноцитов, как относительной величины, происходит на фоне повышения у заводских рыб доли наиболее представительной группы кровяных клеток – лимфоцитов.

Остальные показатели крови подопытных судаков из садков и прудов находятся на близком уровне и соответствуют нормам, определенным для диких рыб. В частности незрелые эритроциты всех возрастных групп на мазках присутствуют в относительно небольшом количестве – 3.2–4.6%, что характерно для рыб-хищников [Заботкина и др., 2015 (Zabotkina et al., 2015)].

Отмеченные нами физиологические изменения, происходящие в организме заводских рыб, не имели негативного воздействия на развитие гонад, в частности у двухгодовиков, яичники которых характеризуются присутствием ооцитов различных размерных групп и формированием резервного фонда половых клеток. У самок из прудов, напротив, половые железы находились в угнетенном состоянии, половые клетки представлены отдельными группами мелких превителлогенных ооцитов, пополнение резервного фонда отсутствует.

Вероятно, отставание в степени развития гонад прудовых двухгодовиков связано с худшей обеспеченностью их пищей, чем заводских рыб. В пользу этого говорит факт отсутствия значимых различий в комплексе абиотических

факторов среды – гидрохимических (см. табл. 2) и фототермических параметров, определяющих нормальный ход развития воспроизводительной системы у рыб в условиях садкового или прудового содержания. О важности внешних факторов среды, стимулирующих нормальное развитие половых желез у рыб, свидетельствуют нарушения репродуктивного цикла у судака, выращиваемого в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) (Khendek et al., 2018), в которых проблематично создать условия, приближенные к естественным.

Отрицательным моментом, негативно влияющим на физиологическое состояние гонад, и, как следствие, на качество половых продуктов, может быть ожирение производителей, как это показано, на примере сиговых рыб [Шумилина, Якубец, 2007 (Shumilina, Yakubets, 2007)]. Тем не менее, учитывая особенность жирового обмена судака, в соответствии с которой накопление липидов происходит в виде висцерального жира в полости тела [Rayuta, Flerova, 2019], чрезмерное отложение липидов может не отразиться негативным образом на состоянии гонад судака, однако это требует дополнительных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований физиологического состояния годовиков и двухгодовиков судака после зимовки в садках рыбоводного хозяйства и прудах установлены существенные различия в размерно-массовых, химических, гематологических и гистофизиологических параметрах рыб. При этом более выраженные различия свойственны судакам старшего возраста.

У рыб первого и второго года жизни достоверные отличия наблюдались у судаков из садков в более высоких значениях индекса печени, полостного жира и витамина С, смещении баланса жирнокислотного статуса липидов тела в сторону накопления МНЖК (за счет олеиновой кислоты) и линолевой кислоты и снижением долей физиологически активных кислот ряда n-3, достоверным снижением гемоглобина и СГЭ у годовиков и тенденцией на снижение этих показателей у двухгодовиков.

Продолжительность содержания судаков в искусственных условиях определяет увеличение отличительных параметров у рыб старших возрастов с одновозрастными рыбами из прудов. Двухгодовики судака из садков достоверно отличаются большими размерами

(длиной и высотой тела) и массой, увеличением жирности тела, сухого вещества и БЭВ, повышением доли незрелых лимфоцитов крови. Кроме этого, у заводских двухгодовиков более развиты яичники, в которых происходит активное формирование резервного фонда половых клеток и наблюдается присутствие ооцитов различных размерных групп. При этом гонадосоматический индекс у судаков из садков сопоставим с таковым у прудовых рыб.

Очевидно, что определенные нами отличия у разновозрастных судаков после зимовки в садках рыбоводного хозяйства и прудах, связаны с различными условиями содержания и кормления рыб.

Результаты настоящей работы определяют необходимость дальнейших физиолого-биохимических исследований рыб из диких популяций и аквакультуры с целью определения потребностей культивируемых рыб в особенностях условий содержания и кормления, что имеет значение для повышения качества производителей и их потомства, используемых для воспроизводства природных запасов судака и аквакультуры.

Работа выполнена в рамках Государственного задания – Тема № 31.3 “Разработка технологической документации для модельных хозяйств по получению молоди и товарному выращиванию рыб – перспективных объектов аквакультуры”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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 Научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященной 140-летию ВНИРО / Под ред. Гордеева И.И., Киввы К.К., Воробьевой О.В., Архипова Л.О., Лаврухиной Е.В. М.: Изд-во ВНИРО, 2021. С. 44–46.
- Головина Н.А. Морфофункциональная характеристика крови рыб – объектов аквакультуры. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М. ВНИИПРХ, 1996. 53 с.
- Голодец Г.Г. Лабораторный практикум по физиологии рыб. М.: Пищепромиздат, 1955. 90 с.
- Горбенко Е.В., Дахно Л.Г., Павлюк А.А., Сергеева С.Г. Состояние производителей судака и тарани и обеспеченность ими нерестово-выростных хозяйств пойменного типа Краснодарского края // Тр. АзНИИРХ (Результаты рыбохозяйственных исследований в Азово-Черноморском бассейне). 2019. Т. 2. С. 201–209.
- Житенева А.Д., Макаров Э.В., Рудницкая О.А., Мирзоян А.В. Основы ихтиогематологии (в сравнительном аспекте). Р. н/Дону: АзНИИРХ, 2012. 320 с.
- Заботкина Е.А., Лапирова Т.Б., Середняков В.Е., Нестерова Т.А. Экологическая пластичность гематологических показателей пресноводных костных рыб // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2015. Т. 72. С. 16–29.
- Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб (сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб). М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1983. 184 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.
- Королев А.Е. Энергетический баланс и рационы молоди судака и пеляди при их совместном выращивании в пруду // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1984. Т. 222. С. 21–30.
- Костылева А.А., Флерова Е.А. Особенности химического состава мышечной ткани леща *Abramis brama* Горьковского водохранилища // Вопр. рыболовства. 2015. Т. 16, № 4. С. 412–418.
- Кудерский Л.А. Долгопериодные изменения уловов рыб восточной части Финского залива // Вопр. рыболовства. 2000. Т. 1, № 2–3, Ч. 2. С. 23–24.
- Кузина Т.В. Анализ гематологических показателей судака Волго-Каспийского канала // Естественные науки. 2009. № 4. С. 96–100.
- Лилли Р. Патогистологическая техника и практическая гистохимия. М.: Мир, 1969. 645 с.
- Лютиков А.А., Королев А.Е. Определение оптимальной массы и плотности посадки молоди судака (*Sander lucioperca*) при переводе из прудов в индустриальные условия // Вопр. рыболовства. 2020. Т. 21, № 2. С. 188–202.
- Лютиков А.А., Королев А.Е. Определение оптимальных показателей массы тела, плотности посадки, температурного режима выращивания и состава кормов при адаптации молоди судака (*Sander lucioperca*) из прудов к индустриальным условиям // Вопр. рыболовства. 2021. Т. 22, № 3. С. 61–82.
- Методические указания по проведению гематологического обследования рыб, утвержденные Департаментом ветеринарии от 2 февраля 1999 г. № 13–4–2/1487 // Сборник 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., Пьянова С.В., Полуэктова О.Г. Гистология для ихтиологов: опыт и советы. М.: ВНИРО. 2009. 112 с.
- Михеев П.В., Мейснер Е.В., Михеев В.П. Садковое рыбноводное хозяйство на водохранилищах. М.: Пищевая промышленность, 1970. 159 с.
- Остриков А.Н., Горбатова А.В., Аникин А.А., Копылов М.В. Анализ жирнокислотного состава рапсового масла // Масложировая промышленность. 2016. № 6. С. 18–21.
- Остроумова И.Н. Биологические основы кормления рыб. СПб.: ГосНИОРХ, 2012. 564 с.
- Остроумова И.Н. Методические указания по использованию анализа крови для оценки качества выращивания молоди семги. Л.: ГосНИОРХ, 1966. 11 с.
- Полтавчук М.А. Биология и разведение днепровского судака в замкнутых водоемах. Киев: Наукова Думка, 1965. 259 с.
- Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
- Пучков Н.В. Физиология рыб. М. Пищепромиздат, 1954. 370 с.
- Ржавская Ф.М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М., Пищевая промышленность, 1976. 470 с.
- Шумилина А.К., Якубец Т.Г. Влияние жирности на репродуктивные показатели самцов пеляди в индустриальных условиях // “Рациональное использование пресноводных экосистем – перспективное направление национального проекта “Развитие АПК” (2007, Москва). Международная научно-практическая конференция, 17–19 декабря 2007 г.: материалы и доклады / ГНУ ВНИИР Россельхозакадемии. М.: Россельхозакадемия, 2007. С. 319–333.
- 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. № 1. P. 217–231. DOI: 10.1007/s10750-011-0886-y
- Bell G., Sargent J. R. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities // *Ibid*. 2003. Vol. 218. P. 491–499.
- Bell J.G., Famdale B.M., Bruce M.P., Navas J.M., Carrillo M. Effects of broodstock dietary lipid on fatty acid composition of eggs from sea bass (*Dicentrarchus labrax*) // *Aquaculture*. 1997. Vol. 149. P. 107–119.
- 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.
- Datsomor A.K., Zic N., Li K., Olsen R.E., Jin Y., Vik J.O., Edvardsen R.B., Grammes F., Wargelius A., Winge P. CRISPR/Cas9-mediated ablation of *elovl2* in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) inhibits elongation of polyunsaturated fatty acids and induces *Srebp-1* and target genes // *Sci. Rep*. 2019. Vol. 9:7533 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43862-8>
- Fallah A.A., Saei-Dehkordi S.S., Nematollahi A. Comparative assessment of proximate composition, physicochemical parameters, fatty acid profile and mineral content in farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *Int. J. Food Sci. Technol*. 2011. Vol. 46. P. 767–773.
- 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>
- Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // *J. Biol. Chem*. 1957. Vol. 226. N. 1. P. 497–509.
- Fuentes A., Fernandez-Segovia I., Serra J.A., Barat J.M. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality // *Food Chem*. 2010. Vol. 119. P. 1514–1518.
- Gonzalez S., Flick G.J., O'Keefe S.F., Duncan S.E., McLean E., Craig S.R. Composition of farmed and wild yellow perch (*Perca flavescens*) // *J. Food Compos. Anal*. 2006. Vol. 19. P. 720–726.
- 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 captive reared adult coho salmon: a geometric analysis // *Environ. Biol. Fishes*. 2000. Vol. 58. P. 61–73.
- Jankowska B., Zakes Z., Żmijewski 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.
- Jankowska B., Zakeś Z., Żmijewski T., Szczepkowski M. Fatty acid composition of wild and cultured northern pike (*Esox lucius*) // *J. Appl. Ichthyol*. 2008. Vol. 24. P. 196–201.
- Johnston I.A., Li X., Vieira V.L.A., Nickell D., Dingwall A., Alderson R., Campbell P., Bickerdike R. Muscle and flesh quality traits in wild and farmed Atlantic salmon // *Aquaculture* 2006. Vol. 256. P. 323–336.
- Khendek A., Chakraborty A., Roche J., Ledoré Y., Personne A., Policar T., Żarski D., Mandiki R., Kestemont P., Milla S. Rearing conditions and life history influence the progress of gametogenesis and reproduction performances in pikeperch males and females // *Animal*. 2018. Vol. 12. P. 2335–2346.
- 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.
- Ljubojevic D., Trbovic D., Lujic J., Bjelic-Cabrilo O., Kostic D., Novakov N., Cirkovic M. Fatty acid composition of fishes from inland waters // *Bulgar. J. Agric. Sci*. 2013. Vol. 19. № 1. P. 62–71.
- 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. № 1. P. 83–90. DOI: 10.1134/S199542552201005X
- Movahed R., Khara H., Ahmadnezhad M., Sayadboorani M. Hematological characteristics associated with parasitism in Pikeperch *Sander lucioperca* (Percidae) from Anzali Wetland // *J. Parasit. Dis*. 2015. Vol. 40. P. 1337–1341.
- 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. № 2. P. 156–161.
- Norambuena F., Estevez A., Bell G., Carazo I. Duncan N. Proximate and fatty acid compositions in muscle, liver and gonads of wild versus cultured broodstock of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) // *Aquaculture*. 2012. Vol. 356. P. 176–185.
- 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 sibel *Pelecus cultratus* from the Gorky Reservoir // *Journal of Ichthyology*. 2019. Vol. 59. №. 2. P. 255–262.
- Rodriguez-Barreto D., Jerez S., Cejas J.R., Martin M.V., Acosta N.G., Bolacos A., Lorenzo A. Comparative study of lipid and fatty acid composition in different tissues of wild and cultured female broodstock of greater amberjack (*Seriola dumerili*) // *Aquaculture*. 2012. Vol. 360–361. P. 1–9.
- Roh H., Park J., Kim A., Kim N., Lee Y., Kim B.S., Kim D.H. Overfeeding-induced obesity could cause potential immuno-physiological disorders in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *Animals*. 2020. Vol. 10. P. 1499–1506.
- Ruuhijärvi J., Hyvärinen P. The status of pike-perch culture in Finland // *J. Appl. Ichtiol.* 1996. Vol. 12 (3–4). P. 185–188.
- Sargent J.R., Bell J.G., Bell M.V., Henderson R.J., Tocher D.R. The metabolism of phospholipids and polyunsaturated fatty acids in fish. *Aquaculture: Fundamental and Applied Research. Coastal Estuarine Studies*. Washington, USA: American Geophysical Union (AGU), 1993. Vol. 43. P. 103–124.
- Schulz C., Bódis M. Rearing and feeding management of pikeperch (*Sander lucioperca*) in intensive systems // *World Aquaculture*, 2008. Vol. 17–21.
- Steffens W. Aquaculture of fry and fingerling of pike-perch (*Stizostedion lucioperca* L.) – a short review // *J. Appl. Ichtiol.* 1996. Vol. 12 (3–4). P. 167–170.
- Steffens W., Wirth M. Influence of nutrition on the lipid quality of pond fish: common carp (*Cyprinus carpio*) and tench (*Tinca tinca*) // *Aquaculture International*. 2007. Vol. 15. P. 313–319.
- Wang X., Li Y., Hou C., Gao Y., Wang Y. Physiological and molecular changes in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* R.) with high-fat diet-induced fatty liver disease // *Aquac. Res.* 2015. Vol. 46. P. 272–282.
- 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.

REFERENCES

- 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, pp. 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, pp. 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, no. 1, pp. 217–231. doi: 10.1007/s10750-011-0886-y
- Atlas presnovodnyh ryb Rossii [Atlas of freshwater fish of Russia (ed. Yu.S. Reshetnikov)]. Moscow, Nauka, 2002. Bd. 2. 253 p. (In Russian)
- Bell G., Sargent J.R. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. *Ibid*, 2003, vol. 218, pp. 491–499.
- Bell J.G., Famdale B.M., Bruce M.P., Navas J.M., Carrillo M. Effects of broodstock dietary lipid on fatty acid composition of eggs from sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 1997, vol. 149, pp. 107–119.
- 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, pp. 14–23.
- Datsomor A.K., Zic N., Li K., Olsen R.E., Jin Y., Vik J.O., Edvardsen R.B., Grammes F., Wargelius A., Winge P. CRISPR/Cas9-mediated ablation of elov12 in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) inhibits elongation of polyunsaturated fatty acids and induces Srebp-1 and target genes. *Sci. Rep.*, 2019, vol. 9:7533 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43862-8>
- Fallah A.A., Saei-Dehkordi S.S., Nematollahi A. Comparative assessment of proximate composition, physicochemical parameters, fatty acid profile and mineral content in farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2011, vol. 46, pp. 767–773.
- 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, pp. 576–581. <https://doi.org/10.17221/7139-VETMED>
- Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 1957, vol. 226, no. 1, pp. 497–509.
- Fuentes A., Fernandez-Segovia I., Serra J.A., Barat J.M. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality. *Food Chem.*, 2010, vol. 119, pp. 1514–1518.
- Golodets G.G. Laboratornyj praktikum po fiziologii ryb [Laboratory practical work on fish physiology]. Moscow, Pishchepromizdat, 1955. 90 p. (In Russian)
- Golovina N.A. Morphofunctional characteristics of the blood of fish – objects of aquaculture. *Extended Abstract of Doct. Biol. Sci. Diss.* Moscow, VNIIPRH, 1996. 53 p. (In Russian)
- Gonzalez S., Flick G.J., O'Keefe S.F., Duncan S.E., McLean E., Craig S.R. Composition of farmed and wild yellow perch (*Perca flavescens*). *J. Food Compos. Anal.*, 2006, vol. 19, pp. 720–726.

- Gorbenko E.V., Dahno L.G., Pavlyuk A.A., Sergeeva S.G. Sostoyaniye proizvoditeley sudaka i tarani i obespechennost' imi nerestovo-vyrostnykh hozyajstv pojmnogo tipa Krasnodarskogo kraya [Status of spawners of zander and ruff and provision of spawning and nursery farms of the floodplain type of the Krasnodar Territory with them]. *Trudy AzNIIRH. [Proc. Azov Res. Inst. of Fisheries]*. Rostov on Don, 2019. Issue 2. pp. 201–209. (In Russian)
- 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 captive reared adult coho salmon: a geometric analysis. *Environ. Biol. Fishes*, 2000, vol. 58, pp. 61–73.
- Ivanova N.T. Atlas kletok krovi ryb (sravnitel'naya morfologiya i klassifikaciya formennykh elementov krovi ryb) [Atlas of fish blood cells (comparative morphology and classification of blood cells in fish)]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1983. 184 p. (In Russian)
- Jankowska B., Zakes Z., Żmijewski 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, pp. 401–405.
- Jankowska B., Zakeś Z., Żmijewski T., Szczepkowski M. Fatty acid composition of wild and cultured northern pike (*Esox lucius*). *J. Appl. Ichthyol.*, 2008, vol. 24, pp. 196–201.
- Johnston I.A., Li X., Vieira V.L.A., Nickell D., Dingwall A., Alderson R., Campbell P., Bickerdike R. Muscle and flesh quality traits in wild and farmed Atlantic salmon. *Aquaculture*, 2006, vol. 256, pp. 323–336.
- Khendek A., Chakraborty A., Roche J., Ledoré Y., Personne A., Policar T., Żarski D., Mandiki R., Kestemont P., Milla S. Rearing conditions and life history influence the progress of gametogenesis and reproduction performances in pikeperch males and females. *Animal*, 2018, vol. 12, pp. 2335–2346.
- 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, pp. 111–117.
- Knyazeva L.M. Rekomendacii po uvelicheniyu sroka hraneniya granulirovannogo korma dlya molodi foreli putem opryskivaniya ego vodnym rastvorom vitamina C [Recommendations for increasing the shelf life of trout fry pellets by spraying them with an aqueous solution of vitamin C]. Leningrad, GosNIORH, 1979. 12 p. (In Russian)
- Korolev A.E. Energeticheskij balans i raciony molodi sudaka i pelyadi pri ih sovmestnom vyrashchivanii v prudu [Energy balance and diets of juvenile zander and peled when they are reared together in a pond]. *Trudy GosNIORH [Proc. Inst. of River and Lake Fisheries]*. Leningrad, 1984, Issue 222. pp. 21–30. (In Russian)
- Kostyleva A.A., Flerova E.A. Features of the chemical composition of the muscle tissue of the bream *Abramis brama* of the Gorky reservoir. *Voprosy rybolovstva*, 2015, vol. 16, no. 4, pp. 412–418. (In Russian)
- Kudersky L.A. Long-term changes in fish catches in the eastern part of the Gulf of Finland. *Voprosy rybolovstva*, 2000, vol. 1, no. 2–3, pp. 23–24. (In Russian)
- Kuzina T.V. Analysis of hematological parameters of zander of the Volga-Caspian Canal. *Estestvennye nauki*, 2009, vol. 4, pp. 96–100. (In Russian)
- Lilly R. Histopathological technique and practical histochemistry. Moscow, Mir, 1969. 645 p. (In Russian)
- Ljubojevic D., Trbovic D., Lujic J., Bjelic-Cabrilo O., Kostic D., Novakov N., Cirkovic M. Fatty acid composition of fishes from inland waters. *Bulgar. J. Agric. Sci.*, 2013, vol. 19, no. 1, pp. 62–71.
- Ljutikov 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, no. 1, pp. 83–90. doi: 10.1134/S199542552201005X
- Ljutikov A.A., Korolev A.E. Determination of the optimal indicators of body weight, stocking density, rearing temperature regime and feed composition during adaptation of juvenile zander (*Sander lucioperca*) from ponds to industrial conditions. *Voprosy rybolovstva*, 2021, vol. 22, no. 3, pp. 61–82. (In Russian)
- Ljutikov A.A., Korolev A.E. Determination of the optimal weight and stocking density of juvenile zander (*Sander lucioperca*) when transferring from ponds to industrial conditions. *Voprosy rybolovstva*, 2020, vol. 21, no. 2, pp. 188–202. (In Russian)
- Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu gematologicheskogo obsledovaniya ryb, utverzhdennye Departamentom veterinarii ot 2 fevralya 1999 g. № 13–4–2/1487 [Guidelines for conducting hematological examination of fish, approved by the Department of Veterinary Medicine dated February 2, 1999 No. 13–4–2 / 1487]. *Collection of instructions for the fight against fish diseases*. Moscow, Otdel marketinga AMB-agro, 1999, pp. 69–97. (In Russian)
- Mikheev P.V., Meisner E.V., Mikheev V.P. Cage fish farming in reservoirs. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1970. 159 p. (In Russian)
- Mikodina E.V., Sedova M.A., Chmylevsky D.A., Mikulin A.E., Pyanova S.V., Poluektova O.G. Histology for ichthyologists: experience and advice. Moscow, Izd. VNIRO 2009, 112 p. (In Russian)
- Movahed R., Khara H., Ahmadnezhad M., Sayadboorani M. Hematological characteristics associated with parasitism in Pikeperch *Sander lucioperca* (Percidae) from Anzali Wetland. *J. Parasit. Dis.*, 2015, vol. 40, pp. 1337–1341.
- 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, no. 2, pp. 156–161.

- Norambuena F., Estevez A., Bell G., Carazo I. Duncan N. Proximate and fatty acid compositions in muscle, liver and gonads of wild versus cultured broodstock of Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture*, 2012, vol. 356, pp. 176–185.
- Ostrikov A.N., Gorbatova A.V., Anikin A.A., Kopylov M.V. Analysis of the fatty acid composition of rapeseed oil. *Maslozhirovaya promyshlennost*, 2016, vol. 6, pp. 18–21. (In Russian)
- Ostroumova I.N. Biological basis of fish feeding. St. Petersburg, Izd. GosNIORH, 2012. 564 p. (In Russian)
- Ostroumova I.N. Guidelines for the use of a blood test to assess the quality of rearing of juvenile salmon. Leningrad, Izd. GosNIORH, 1966. 11 p. (In Russian)
- 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, pp. 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 sibel *Pelecus cultratus* from the Gorky Reservoir. *Journal of Ichthyology*, 2019, vol. 59, no. 2, pp. 255–262.
- Poltavchuk M.A. Biology and breeding of the Dnieper pike perch in closed reservoirs. Kyiv, Naukova Dumka, 1965. 259 p. (In Russian)
- Pravdin I.F. Guide to the study of fish. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1966. 376 p. (In Russian)
- Puchkov N.V. Physiology of fish. Moscow, Pishchepromizdat, 1954. 370 p. (In Russian)
- Rodriguez-Barreto D., Jerez S., Cejas J.R., Martin M.V., Acosta N.G., Bolacos A., Lorenzo A. Comparative study of lipid and fatty acid composition in different tissues of wild and cultured female broodstock of greater amberjack (*Seriola dumerili*). *Aquaculture*, 2012, vol. 360–361, pp. 1–9.
- Roh H., Park J., Kim A., Kim N., Lee Y., Kim B.S., Kim D.H. Overfeeding-induced obesity could cause potential immuno-physiological disorders in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*, 2020, vol. 10, P. 1499–1506.
- Ruuhijärvi J., Hyvärinen P. The status of pike-perch culture in Finland. *J. Appl. Ichtiol.*, 1996, vol. 12 (3–4), pp. 185–188.
- Rzhavskaya F.M. Fats of fish and marine mammals. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1976. 470 p. (In Russian)
- Sargent J.R., Bell J.G., Bell M.V., Henderson R.J., Tocher D.R. The metabolism of phospholipids and polyunsaturated fatty acids in fish. *Aquaculture: Fundamental and Applied Research. Coastal Estuarine Studies*. Washington, USA, American Geophysical Union (AGU), 1993, vol. 43, pp. 103–124.
- Schulz C., Bódis M. Rearing and feeding management of pikeperch (*Sander lucioperca*) in intensive systems. *World Aquaculture*, 2008, vol. 17–21.
- Shumilina A.K., Yakubets T.G. The influence of fat content on the reproductive performance of peled males under industrial conditions. Racionalnoe ispolzovanie presnovodnyh ehkosistem perspektivnoe napravlenie nacionalnogo proekta “Razvitie APK”. 2007 Moskva [Rational use of freshwater ecosystems is a promising direction of the national project “Development of the Agro-Industrial Complex” (2007, Moscow). Proc. Int. Conf.]. Moscow, Izd. Rossel'hozakademiy, 2007, pp. 17–19 (In Russian)
- Shurukhin A.S., Lukin A.A., Pedchenko A.P., Titov S.F. The current state of the fish industry and the efficiency of the use of the raw material base of the Gulf of Finland of the Baltic Sea. *Trudy VNIRO [Proc. Inst. of Fisheries and Oceanography]*. Moscow, 2016. Issue 160. pp. 60–69. (In Russian)
- Steffens W. Aquaculture of fry and fingerling of pike-perch (*Stizostedion lucioperca* L.) – a short review. *J. Appl. Ichtiol.*, 1996, vol. 12 (3–4), pp. 167–170.
- Steffens W., Wirth M. Influence of nutrition on the lipid quality of pond fish: common carp (*Cyprinus carpio*) and tench (*Tinca tinca*). *Aquaculture International*, 2007, vol. 15, pp. 313–319.
- Vylka M.M. Blood parameters of yearlings and two-year-olds of zander *Sander lucioperca* grown in ponds and cages. Materialy IX Nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchyonyh, posvyashchenoj 140-letiyu VNIRO [Materials of the scientific and practical conference of young scientists dedicated to the 140th anniversary of VNIRO]. Moscow, Izd. VNIRO, 2021, pp. 44–46. (In Russian)
- Wang X., Li Y., Hou C., Gao Y., Wang Y. Physiological and molecular changes in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* R.) with high-fat diet-induced fatty liver disease. *Aquac. Res.*, 2015, vol. 46, pp. 272–282.
- 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, pp. 853–858.
- Zabotkina E.A., Lapirova T.B., Serednyakov V.E., Nesterova T.A. Ecological plasticity of hematological parameters of freshwater bone fish. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2015, Issue 72, pp. 16–29. (In Russian)
- Zhiteneva A.D., Makarov Eh.V., Rudnitskaya O.A., Mirzoyan A.V. Fundamentals of ichthyohematology (in a comparative aspect). Rostov on Don, 2012, Izd. AzNIIRH, 320 p. (In Russian)

PHYSIOLOGICAL STATE OF ONE-YEAR-OLD AND TWO-YEAR-OLD PIKEPERCH (*SANDER LUCIOPERCA*) AFTER WINTERING IN CAGES AND PONDS

A. A. Lyutikov¹, A. E. Korolev¹, A. K. Shumilina¹, M. M. Vylka¹, A. G. Selyukov², E. I. Kurdina²,
Yu. A. Baskakova³, R. V. Artemov³

¹ Saint-Petersburg branch of the “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography” (VNIRO),
199053, Saint-Petersburg Makarova emb., 26. e-mail: tokmo@mail.ru

² Tyumen State University – TyumSU,
625003, Tyumen st. Volodarsky, 6, e-mail: ags-bios@yandex.ru

³ Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography (VNIRO),
107140, Moscow, st. Verkhnyaya Krasnoselskaya, 17, e-mail: protein@vniro.ru

Studies of the physiological state of one-year-old and two-year-old pikeperch after wintering in fish farming cages and ponds have shown significant differences in mass-size, chemical, hematological and histophysiological parameters of fish. For pikeperch of both ages, significant differences were observed in the form of higher values of the liver index in farmed fish (1.63% vs. 1.33% in one-year-olds and 2.79% vs. 1.16% in two-year-olds), abdominal fat index (0.96% vs. 0.39% in one-year-olds and 7.88% vs. 0.44% in two-year-olds), vitamin C (76.5% vs. 18.9% in one-year-olds and 69.9% vs. 12.3% in two-year-olds), in the shift of the balance of the fatty acid status of body lipids towards the accumulation of MUFAs – monounsaturated fatty acids (39.61% vs. 27.47% of the total fatty acids in one-year-olds and 54.34% vs. 39.90% of the total fatty acids in two-year-olds), a decrease in the proportion of physiologically active acids of the n-3 series (21.60% vs. 22.53% of the total fatty acids in one-year-olds and 12.19% vs. 17.70% of the total fatty acids in two-year-olds), and a significant decrease in hemoglobin (65.2 g /l vs. 76.5 g /l) and MCH – the average content of hemoglobin in the erythrocyte (28.4 vs. 33.9 pictograms, pg) in one-year-olds and a tendency to decrease these indicators in two-year-olds (68.7 g /l vs. 73.5 g /l hemoglobin and 31.7 pg vs. 35.6 pg, respectively). More pronounced differences in the studied parameters are characteristic of older pikeperch from fish farms, relative to fish from ponds. Two-year-old pikeperch reared in cages of a fish farm are characterized by significantly greater length (21.10 vs. 18.78 cm) and body weight (89.50 vs. 68.97 g), high content of body lipids (8.75 vs. 2.05%), dry matter (30.8 vs. 23.4%) and BEV – nitrogen-free extractives (4.11 versus 1.55%). Two-year-old pikeperch reared in cages of a fish farm are characterized by significantly greater length (21.10 cm vs. 18.78 cm) and body weight (89.50 g vs. 68.97 g), high content of body lipids (8.75% vs. 2.05%), dry matter (30.8% vs. 23.4%) and NFE – nitrogen-free extractives (4.11% versus 1.55%). In addition, two-year-olds (females) in industrial conditions had more developed gonads with a similar gonadosomatic index with pikeperch from ponds (0.20 and 0.23, respectively) – active formation of a reserve fund of germ cells and the presence of oocytes of various size groups were observed in the ovaries of farmed fish. Certain distinctions in pikeperch of different ages after wintering in fish farming cages and ponds are related to different conditions of keeping and feeding fish.

Keywords: pikeperch, *Sander lucioperca*, broodstock, industrial aquaculture, artificial feed, ponds, physiological state, morphophysiology