

АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

УДК 639.3.07; 639.3.043.13

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МАССЫ И ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ
МОЛОДИ СУДАКА (*SANDER LUCIOPERCA*) ПРИ ПЕРЕВОДЕ ИЗ ПРУДОВ
В ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ**

© 2020 г. А. А. Лютиков, А. Е. Королев

Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга), Санкт-Петербург, 199053

E-mail: tokmo@mail.ru

Поступила в редакцию 26.03.2020 г.

Представлены результаты исследований по определению оптимальной массы и плотности посадки молоди прудового судака для перевода в промышленные условия выращивания. Показано, что личинки средней массой 116 мг лучше адаптированы к переводу из прудов в бассейны на искусственные корма, чем молодь массой 627 мг. В обоих случаях сеголетки достигали массы 1 г на 25–31 сут., однако молодь с меньшей начальной массой имела при этом более высокие показатели выживаемости (до 69% против 20–40%), роста (среднесуточный прирост 7,3–8,4% против 2,6%) и плотности посадки (до 12,0 экз./л против 3,2 экз./л). Снижение плотности посадки до 2,3 экз./л и ее повышение до 12,0 экз./л определяло более быстрый рост молоди в бассейнах в первые недели выращивания, чем при плотности 8,6 экз./л, что косвенно указывает на более раннюю адаптацию молоди к новым условиям содержания и переход на искусственную диету. Выживаемость судака также была выше при пониженной (2,3 экз./л) и повышенной (12,0 экз./л) плотности выращивания – 69 и 45%, соответственно, против 37% при плотности посадки 8,6 экз./л. Результаты выращивания судака при плотности посадки 12,0 экз./л характеризовались наибольшей рыбопродукцией – 6 г/л, что на 31–67% больше, чем в других вариантах эксперимента. Применение живого корма (науплии артемии) позволило улучшить адаптивные свойства прудовой молоди в период ее перевода в промышленные условия и повысить ее выживаемость до 37%, против 23% по сравнению с одновременным переводом судака на монодиеты из искусственного корма (при одинаковой плотности посадки 8,6 экз./л). Физиологический анализ выращенных комбинированным (прудовым и промышленным) способом сеголеток судака указывает на сходство морфофизиологических, биохимических и гематологических показателей с прудовой молодь, что говорит как о полноценности самой рыбы, так и соответствии условий выращивания потребностям молоди судака, включая корма и режимы кормления.

Ключевые слова: судак, *Sander lucioperca*, аквакультура, молодь, пруды, промышленные технологии, бассейны, искусственный корм.

ВВЕДЕНИЕ

Судак *Sander lucioperca* – ценный промысловый вид и перспективный объект аквакультуры, технология промышленного культивирования которого к настоящему времени до конца не разработана. Наиболее уязвимым местом биотехники искусственно выращивания судака является этап подра

щивания личинок до трехнедельного возраста с начала потребления пищи, что усугубляется отсутствием на рынке специализированных стартовых искусственных кормов. Исследования, проведенные различными авторами по кормлению личинок судака только искусственными стартовыми кормами, не принесли желаемого результата – смерт-

ность в первые 2–3 недели выращивания приближалась к 100% (по: Королев, 2005), что позволило сделать заключение об ограниченных пищеварительных возможностях ранних личинок судака по отношению к искусственным кормам (Mani-Ponset et al., 1994; Nyina-wamwiza, 2005).

Данное предположение было сформулировано не только на основании отрицательного опыта кормления личинок с первых дней питания монодиетами из искусственного корма, но и на основе представлений о формировании пищеварительной системы судака на личиночном этапе развития. Как и у других рыб с мелкой икрой желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) предличинок судака после вылупления массой 0,3–0,5 мг имеет вид прямой недифференцированной трубки. Спустя 3–4 сут. после вылупления с началом потребления внешней пищи у личинок происходит расширение переднего отдела кишечной трубки. Спустя две недели (масса 7–8 мг) в переднем участке ЖКТ формируется петля, что соответствует началу оформления желудка как отдельного органа. Подобные морфофизиологические и функциональные изменения сопровождаются увеличением количества пищеварительных желез, функционирование которых наблюдается через 10 сут. (Ostaszewska, 2005), т.е. при массе около 40–60 мг.

Примерно через 30–35 сут. после вылупления при массе около 150 мг происходит дифференциация желудка на отделы, появляются зачатки пилорических придатков, начинается секреция пепсина (Hamza et al., 2007). Это дает основание полагать, что пищеварительная система молоди указанной массы позволяет адекватно реагировать на потребленный искусственный корм.

Современные исследования по выращиванию судака с использованием живых кормов (прудовые и индустриальные технологии), направлены на изучение возможности раннего отлучения личинок от питания дорогостоящими фито- и зоопланктонными организмами. Основной акцент при этом делается на такие важные рыбоводные по-

казатели как масса молоди и плотность посадки.

Считается, что ключевым фактором, определяющим уровень адаптации молоди судака к искусственному корму, является ее начальный размер (Zakęś, 1999). До недавнего времени начальная масса судаков, используемых для перевода на искусственные корма, как правило, составляла примерно 400 мг и более (Baer et al., 2001; Zienert, 2003). В последнее время в литературных источниках все чаще встречаются материалы, согласно которым начальная масса молоди, отлучаемой от естественного корма, не превышает 200 мг (Хубенова и др., 2014; Hubenova et al., 2015). Собственные исследования по переводу судака из прудов в индустриальные условия также показали возможность успешного перевода молоди на искусственные корма при массе около 140 мг (Лютиков, Королев, 2019).

Не менее важным критерием при адаптации судака к искусственным диетам является определение оптимальной плотности посадки. При массе судака 140–200 мг хорошие результаты были получены при плотности выращивания рыб, равной 6–7 экз./л (Hubenova et al., 2015; Лютиков, Королев, 2019), в то же время было показано, что увеличение плотности до 12 экз./л не приводит к снижению показателей роста и выживаемости (Хубенова и др., 2014).

Таким образом, при переводе молоди судака с естественного корма на искусственный, актуальным направлением усовершенствования технологии выращивания комбинированным (прудовым и индустриальным) методом являются исследования, направленные на более раннее отлучение молоди от живого корма при увеличении плотности посадки выращиваемой рыбы.

В связи с этим целью настоящих исследований было определение оптимальной минимальной средней массы и плотности посадки подрощенной в прудах молоди судака для перевода в индустриальные условия. Для осуществления поставленной цели были определены задачи, в которые входило выра-

щивание судака с момента начала потребления внешней пищи по прудовой технологии до массы приблизительно 100 мг и разработка экспериментальных диет для перевода подрощенной молоди с прудового зоопланктона на искусственные корма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Описание технологии подготовки производителей судака, получения и инкубации икры, получения и выдерживания предличинок, их перевозки, прудовых условий выращивания, а также облова и перевозки молоди в индустриальные условия, подробно приведено в ранее опубликованной работе (Лютиков, Королев, 2019).

В 2019 г. подращивание личинок судака комбинированным способом осуществляли в два этапа: на первом этапе — в прудах крестьянского хозяйства К. А. Аверченкова (Приозерский район Ленинградской области) на естественном корме и на втором этапе — в индустриальных условиях на научно-

производственной базе ООО «Форват» (оз. Суходольское, Приозерский район, Ленинградская обл.).

Первый облов прудов проводили 16 июня. Было поймано 2004 экз. судака средней индивидуальной длиной $20,9 \pm 0,2$ мм и массой $116,4 \pm 3,5$ мг. Время транспортировки молоди из прудового хозяйства до ООО «Форват» составило 2 ч 20 мин, за это время погибло 4,5% личинок. Молодь была рассажена в пять экспериментальных бассейнов №№1–5 объемом 65 л (при фактическом объеме воды около 50 л) с различной плотностью посадки. Режимы кормления личинок массой 116,4 мг в бассейнах представлены в таблице 1. В бассейне №1 молодь сразу стали кормить только искусственным кормом. В бассейнах №№2–5 искусственный корм чередовали с добавлением науплий артемии — 5 раз в сутки.

Молодь кормили кормом экспериментальной рецептуры ГосНИОРХ, содержащим среди основных компонентов рыбную и мясную муку, гаприн, сухой белок яйца, фосфолипиды, рыбий жир, физиологи-

Таблица 1. Схема кормления молоди судака с начальной средней массой 116,4 мг с 16.06 по 17.07.2019 г.

Бассейн, №	1	2	3	4	5
Плотность посадки, экз./басс.	430	430	430	114	600
Плотность посадки, экз./л	8,6	8,6	8,6	2,3	12,0
Режим кормления					
Время суток, ч	с 17.06. и далее		с 17 по 24.06., далее только искусственный корм		
8–9	Сухой корм		Сухой корм		
10			Артемия		
11–12			Сухой корм		
13			Артемия		
14–15			Сухой корм		
16			Артемия		
17–18			Сухой корм		
19			Артемия		
20–21			Сухой корм		
22			Артемия		

чески активные добавки (Остроумова и др., 2018). Экспериментальный корм молодь судака получала во всех вариантах опыта с начала исследования, кроме молоди в бассейне №2, где рацион судака состоял из экспериментального корма с добавлением крилевого аттрактанта. Начиная с 28.06.2019 г. в бассейнах №№3–5 экспериментальный корм был заменен на коммерческий корм «Биомар». Пищевая ценность экспериментального корма составляла: белок 56%, жир 13%, углеводы 11%. Корма «Биомар», согласно проспекту производителя, имели следующую питательную ценность: Иницио Плюс Джи (0,4 мм), содержание протеина — 60%, жира — 10%; Иницио Плюс-901 (0,5 мм), содержание протеина — 57%, жира — 18%, и предназначены для выращивания молоди лососевых рыб.

При проведении второго облова прудов (11 июля) было отловлено 320 судаков средней массой $627,0 \pm 35,8$ мг, которые были доставлены в промышленные условия без погибших особей и поровну рассажены в два экспериментальных бассейна №№7

и 8 при плотности 160 экз./бассейн, или 3,2 экз./л. (табл. 2). Учитывая относительно крупные размеры, судака сразу переводили на искусственный корм фирмы «Биомар» с размером гранул — 0,4–0,5 мм. Личинок кормили вручную через каждый час с 8 до 22 ч.

Помимо комбинированного способа, выращивание молоди проводили полностью в промышленных условиях. Для этих целей в два аппарата ВНИИПРХ объемом 120 л (№№1 и 2) было посажено в общей сложности 19,2 тыс. предличинок (80 экз./л) массой 0,4 мг. В аппарате №1 личинок кормили с 8 до 12 ч через каждый час искусственным кормом, далее поочередно науплиями артемии и искусственным кормом. В аппарате №2 в качестве корма использовали только науплии артемии, которую подавали каждые 1,5 ч с 8 до 22 ч. В первые две недели корма давали с избытком — 10–20% от массы выращиваемых рыб, далее суточная норма кормления была снижена до 5–7%.

Подробная схема эксперимента по комбинированной и промышленной техно-

Таблица 2. Схема проведения исследований по комбинированной и промышленной технологии выращивания судака в 2019 г.

Операция (мероприятие)	Количество прудов/емкостей, шт.	Средняя масса молоди при посадке, мг	Плотность посадки, тыс. экз./га (тыс. экз./м ³)	Плотность посадки, экз./бассейн (экз./аппарат)	Количество посадочного материала, экз.
Комбинированная технология					
Выращивание молоди в прудах	2	0,4	21,0	-	150000
Выращивание в бассейнах	5	116,4	(2,3–12,0)	114–600	2004
	2	627,0	(3,2)	160	320
Промышленная технология					
Выращивание в аппаратах ВНИИПРХ	2	0,4	(80,0)	(9600)	19200
Выращивание в бассейнах	1	153,0	(1,8)	128	128

логиям выращивания судака в 2019 г. приведена в таблице 2.

Бассейны чистили от фекалий и остатков не потребленного корма один раз в сутки после последнего кормления. Условия содержания и выращивания молоди судака в бассейнах соответствовали оптимальным — проточность составляла 0,04–0,05 л/с, освещенность над поверхностью воды в бассейнах в течение светового дня — от 15 до 94 Лк, содержание растворенного в воде кислорода находилось в пределах 7,7–8,2 мг/дм³ с насыщением 85–91%, воду в выростных емкостях подогревали до 20–22 °С.

Темп роста молоди (среднесуточный прирост) определяли еженедельно по данным контрольных обловов (по 10 экз.) по уравнению Винберга (1957). По окончании эксперимента отбирались пробы на биохимические (50–70 экз. в пробе), гематологические (10 экз. в пробе) и морфофизиологические исследования (по 30 экз. в пробе) выращенных рыб. Методика обработки проб и аналитические работы описаны нами ранее (Лютиков, Королев, 2019). Для статистической обработки полученных результатов использовали пакет прикладной программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты экспериментального выращивания прудовой молоди судака со

средней массой 116,4 мг в индустриальных условиях при различных плотностях посадки и режимах кормления.

С первых суток кормления в индустриальных условиях молодь интересовалась искусственным кормом, однако факта захвата гранул нами отмечено не было. Анализ совокупной пробы (50 экз.) погибших на 4-е сут. эксперимента особей из пяти бассейнов показал, что 29% судаков не питались, у 24% в желудочно-кишечном тракте были искусственные корма вместе с науплиями артемии и 47% потребляли только живой корм.

Наиболее быстро к новым условиям выращивания и режиму кормления адаптировалась молодь из бассейна №4 с наименьшей плотностью посадки (2,3 экз./л) и наличием в рационе как живого, так и искусственного корма. Средняя масса таких личинок в первые 10 сут. выращивания в эксперименте была самой высокой (табл. 3). Личинки в этом варианте опыта сохраняли высокий темп роста на протяжении всего периода наблюдений при низкой смертности.

Молодь судака, сразу переведенная на искусственную диету (вариант опыта №1), в первые 7 сут. не потребляла корм и теряла в весе. По итогам первой декады личинки из бассейна №1 характеризовались наименьшей индивидуальной массой. Повышенная по сравнению с другими вариантами опыта смертность рыб объясняется проявлением в этот период каннибализма, который

Таблица 3. Результаты выращивания молоди судака в индустриальных условиях от подрощенной в прудах молоди со средней массой 116,4 мг

Дата:	Плотность, экз./л	16.06.	26.06.	03.07.	10.07.	17.07.	Среднесуточный прирост, %	Выживаемость, %	Ихтиомасса, г/л
Бассейн, №		Средняя масса молоди, г							
1	8,6	0,116	0,133	0,410	0,822	1,562	8,4	23	3,1
2	8,6		0,163	0,204	0,604	0,944	6,8	32	2,6
3	8,6		0,159	0,333	0,862	1,305	7,8	37	4,2
4	2,3		0,196	0,372	0,682	1,246	7,7	69	2,0
5	12,0		0,164	0,362	0,673	1,113	7,3	45	6,0

снижился с переходом молоди на искусственный корм. Адаптация личинок к искусственному корму способствовала повышению их темпа роста. По итогам выращивания такая молодь имела наибольшую среднюю массу (1,562 г) при наименьшей выживаемости (23%).

Вариант опыта №2 с испытанием крилевого аттрактанта по темпу роста показал результаты хуже, чем в других вариантах, а по выживанию — хуже, чем в вариантах с аналогичной схемой кормления, но без использования добавки, повышающей привлекательность кормов (№№3–5). По всей видимости, плохие результаты связаны с низким качеством аттрактанта, который в целом неудовлетворительно отразился на качестве корма.

Выращивание судака при высокой плотности посадки, равной 12 экз./л (вариант опыта №5), позволило получить лучшую выживаемость, чем при 8,6 экз./л (вариант опыта №3), и самую большую общую массу выращенных рыб в эксперименте.

Анализ смертности молоди показывает, что во всех вариантах экспериментального выращивания повышенная гибель отмечалась в первые две недели, от 80% (всех погибших рыб за весь период выращивания) в варианте №3, до 95% в варианте №1. Гибель существенно снизилась после достижения молодь средней массы 300 мг и более. Это связано как с адаптацией молоди к новым условиям содержания, режимам кормления и кормам, так и сокращением случаев каннибализма. Исключением стал вариант №2 (корм с крилевым аттрактантом), в ко-

тором смертность молоди была высокой на протяжении всего эксперимента.

Результаты экспериментального выращивания прудовой молоди судака со средней массой 627 мг в промышленных условиях.

Перевод подроженных в прудах судаков в промышленные условия сразу на искусственные диеты показал, что в первые 20 сут. молодь голодала и теряла в весе. Особенно сильно уменьшение средней массы тела рыб проявилось в первую неделю — 21,4% от начальной массы (табл. 4).

Начало потребления корма частью молоди и прибавка в весе отмечены на 10–14 сут. Полная адаптация к искусственному корму произошла только после 20 сут. выращивания, однако часть рыб так и не перешла на предлагаемые диеты, что способствовало появлению в обоих бассейнах двух размерных групп (отрицательный эксцесс): крупных судаков, полностью перешедших на искусственный корм, со средней массой, соответственно, 1,74 г, численность которых составила 29,2% (бассейн №7), и мелких, не перешедших на питание искусственным кормом, средняя масса которых составила, соответственно, в бассейне №7—0,357 г, в бассейне №8—0,444 г. К 28–30 сут. эксперимента судаки достигли средней массы 1 г при крайне высоком показателе коэффициента вариации (C_v) — 43,2%.

Смертность судака с начальной средней массой 627 мг в первые три недели эксперимента была существенно ниже, чем в последующий аналогичный период, и составила

Таблица 4. Результаты перевода подроженной в прудах молоди судака с начальной средней массой 0,627 г на искусственные корма

Дата:	11.07.	17.07.	24.07.	31.07.	07.08.	14.08.	24.08.	Средне-суточный прирост, %	Выживаемость, %
Бассейн, №	Средняя масса молоди, г								
7	0,627	0,498	0,525	0,618	0,760	1,720	3,740	4,1	20,0
8		0,493	0,486	0,609	1,238	2,235	3,630	4,1	40,6

Таблица 5. Результаты выращивания молоди судака с начальной средней массой 0,153 г, подрощенной в индустриальных условиях

Дата:	11.07.	17.07.	24.07.	31.07.	07.08.	Среднесуточный прирост, %	Выживаемость, %
Бассейн, №	Средняя масса молоди, г						
6	0,153	0,302	0,528	0,969	1,511	8,8	90

в среднем 13%, против 57%. Высокий процент смертности во второй половине наблюдений был связан с гибелью мелких истощенных особей, не питавшихся искусственным кормом. Оставшаяся молодь в бассейне №7 достигла средней массы $3,74 \pm 0,18$ г ($Cv=12,3$) и длины $6,58 \pm 0,10$ см ($Cv=14,2$). В бассейне №8, соответственно — $3,63 \pm 0,17$ г ($Cv=33,5$) и длины — $6,63 \pm 0,10$ см ($Cv=11,2$). Смертность мелких особей привела к уменьшению показателя коэффициента вариации массы рыб, однако в бассейне №8 он оставался на высоком уровне.

Индустриальный способ выращивания

Подращивание личинок судака после вылупления искусственным кормом в сочетании с живым (аппарат №1) позволило получить молодь средней массой $68,0 \pm 4,0$ мг ($Cv=23,3\%$) на 21 сут. Личинки, получавшие исключительно живой корм (аппарат №2), росли значительно лучше и за тот же период достигли средней массы $153,0 \pm 0,4$ мг ($Cv=22,8\%$). Выживание во всех вариантах опыта было крайне низким, основная смертность личинок — 64,1%, пришлось на первые 20 сут. выращивания. Кроме того значительная смертность молоди отмечалась, когда на стенках аппаратов и личинках были обнаружены паразитические рачки рода *Argulus*.

По достижении подрощенными на живом корме личинками средней массы 153 мг (всего 128 экз.) их дальнейший перевод на искусственную диету осуществляли в круглом пластиковом бассейне. При пересадки личинок из аппаратов в бассейн погибло 37 экз. Дальнейшее выращивание судака в бассейне проводилось при плотности посадки 1,8 экз./л. Результаты эксперимента представлены в таблице 5.

Молодь, подрощенная по индустриальной технологии, при переводе на искусственные корма демонстрировала высокий темп роста в первые три недели эксперимента, еженедельно увеличивая массу на 75–100%. При отсутствии необходимости в адаптации к новым условиям содержания, хорошей обеспеченностью кормом и низкой плотности посадки, молодь судака достигла массы 1 г за 19 сут. при показателе среднесуточного прироста 9,1%. К 27 сут. средняя масса молоди превысила 1,5 г (табл. 5). Смертность молоди в первые три недели эксперимента, т.е. до достижения массы 1 г, не превышала 10%.

Сравнительные показатели роста молоди судака в индустриальных условиях и в прудах

Судак, выращенный по комбинированной технологии в прудах до средней массы 116 мг, а затем в индустриальных условиях до 1,23 г, был пересажен 18 июля 2019 г. (возраст — 61 сут.) в квадратный бассейн 1×1 м² с уровнем воды 0,45 м и плотностью посадки 1,6 экз./л (всего 742 экз.). К 24 августа средняя масса рыб составила $5,9 \pm 0,21$ г при длине $8,01 \pm 0,09$ см и выживаемости 98%. Судак в прудах достигли схожих размеров лишь к середине октября (см. рис. 1). Их средняя масса и длина равнялась $4,8 \pm 0,13$ г и $7,6 \pm 0,07$ см. Коэффициент упитанности у выращенных в прудах и индустриальных условиях сеголеток судака был примерно одинаков — 1,08 и 1,15 г, соответственно.

Анализ физиологического состояния выращенной молоди судака

Физиологическое состояние культивируемой молоди рыб оценивали на основании анализа морфофизиологических, биохимических

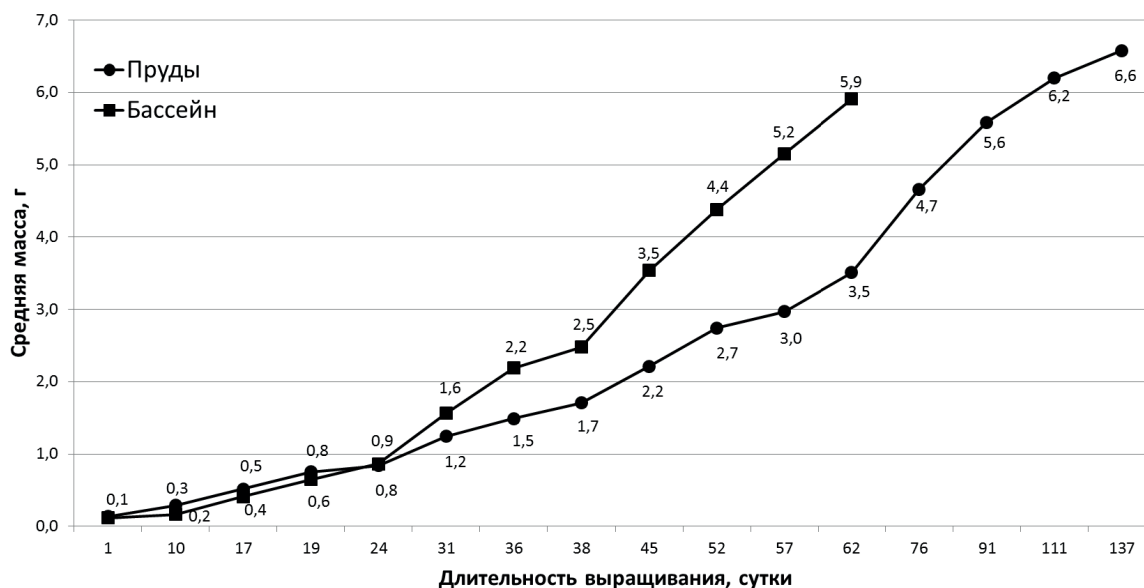


Рис. 1. Рост молоди судака с начальной массой 120–140 мг в прудах и промышленных условиях.

мических и гематологических показателей. Результаты анализа приведены в таблицах №№ 6, 7 и 8, соответственно. Для этих целей использовали молодь судака разного возраста, выращенную в прудах на естественной кормовой базе и комбинированным способом.

Для оценки морфофизиологических показателей были отобраны приблизительно одноразмерные особи судака из прудов и бассейнов. При схожей массе длина переведенных на искусственные корма рыб уступала таковой у прудовой молоди на 14% (табл. 6). Коэффициенты упитанности и индекса печени были выше у судаков, выращенных

в бассейнах, что связано с использованием высококалорийных искусственных кормов и хорошей обеспеченностью рыб пищей по сравнению с прудовой молодь. Вариабельность исследованных признаков выращенного по комбинированной технологии судака, была также существенно выше, чем у прудовой молоди. Это можно объяснить длительным периодом адаптации рыб к новым условиям выращивания и не одновременным ее переходом с живой пищи на искусственные корма.

Биохимические показатели сеголеток судака массой от 0,6 до 3,6 г из различных условий выращивания имеют близкие

Таблица 6. Морфофизиологические показатели молоди судака, выращенной в прудах и комбинированным (прудовые и промышленные условия) способом

Технология выращивания	AD, см *	Cv, %	m, г	Cv, %	Индекс печени, % *	Ky (Ф), % *
Прудовая	<u>5,2±0,04</u> 4,9–5,5	3,2	<u>1,23±0,04</u> 1,02–1,52	12,8	<u>1,0±0,1</u> 0,6–1,8	<u>0,89±0,01</u> 0,8–1,0
Комбинированная	<u>4,5±0,17</u> 3,7–5,3	12,1	<u>1,18±0,14</u> 0,48–1,85	39,0	<u>2,2±0,1</u> 1,6–2,7	<u>1,18±0,03</u> 0,9–1,3

Примечание: здесь и далее — над чертой приведены среднее значение признака и его ошибка, под чертой — пределы варьирования признака; * — различия признака статистически достоверны при $p \leq 0,05$.

Таблица 7. Химический состав тела молоди судака, выращенной в прудах и комбинированным способом

Возраст, сут.	Масса, г	Влажность, %	Содержание в сырой массе			
			белок, %	жир, %	зола, %	витамин С, мкг/г
Прудовая технология (лето)						
30	0,1	85,92	9,79	1,83	2,25	70,27
49	0,6	78,90	12,23	3,22	3,16	82,02
Прудовая технология (осень)						
145	4,8	78,80	13,47	2,53	3,41	23,47
152	1,2	81,18	12,55	1,80	3,91	21,93
Комбинированная технология						
47	1,2	77,02	16,21	4,12	2,84	44,60
68	3,6	72,13	15,85	7,41	2,98	45,47

значения, за исключением более высоких показателей жира и белка, и низкого содержания витамина С (табл. 7) в теле молоди, переведенной в искусственные условия. Подобные различия биохимических параметров определяются питательной ценностью пищи. Качество корма также отражается на биохимическом составе тела в процессе роста судака. В частности, жир повышается с 4,12% (в сырой массе) до 7,41% у рыб массой 1,2 и 3,6 г, что связано с возрастанием жирности кормов, применяемых по мере роста рыб. Также у этих рыб наблюдается снижение влаги в теле с 77,02 до 72,13%.

Анализ прудовых сеголеток показывает, что судаки со средней массой около 0,1 г характеризуются низким содержанием белка, жира и золы, которое повышается у мальков массой 0,6 г на 20,43 и 29%, соответственно, а также высокой влажностью — 85,92% у личинок и 78,90% у подрожденной молоди. Это может быть вызвано как физиологическими изменениями, связанными с переходом от личиночного к мальковому этапу развития судака (окаменение скелета, появление чешуи и др.), так и со сменой его рациона. К осени у прудовой молоди также происходят изменения биохимического состава тела — наблюдается снижение жира и витамина С (табл. 7), что может указывать

на голодание рыб. Низкий уровень жира — 1,0–1,9%, в теле прудовых сеголеток судака отмечают и другие авторы (Jankowska et al., 2003; Schulz et al., 2006).

Морфологическая картина клеток красной и белой крови молоди судака из индустриальных условий и прудов, а также сравнение полученных результатов с материалами прошлых лет и литературными данными указывает на сходство исследуемых показателей (табл. 8). Подобные результаты могут свидетельствовать об отсутствии патологических явлений в организме сеголеток судака и быть принятыми за предварительную норму.

Существенные различия в проценте незрелых эритроцитов у судака, выращенного комбинированным и прудовым способом, могут быть связаны с различиями в температурном и кислородном режимах в прудах и индустриальных условиях, а также с различными размерами сравниваемых рыб, что требует дополнительных исследований.

По мере роста гематологическая картина крови судака изменяется (табл. 8). Происходит снижение уровня лимфоцитов и незрелых эритроцитов (из 200 шт.), и увеличение моноцитов и лейкоцитов (из 500 эритроцитов). Полиморфноядерные лейкоциты, которые не были определены у судака до мас-

Таблица 8. Морфология клеток красной и белой крови у сеголеток судака из эксперимента 2019 г.

Технология выращивания (масса, г)	Лимфоциты, %	Полиморфно-ядерные лейкоциты, %	Моноциты, %	Кол-во лейкоцитов из 500 эритроцитов, шт.	% незрелых эритроцитов из 200 шт.
Прудовая (0,5)	$99,3 \pm 0,4$ 96–100	0	$0,7 \pm 0,4$ 0–4	$5,1 \pm 1,1$ ** 1–12	$5,1 \pm 0,7$ * 2,5–10,5
Комбинированная (0,8)	$99,1 \pm 0,3$ 98–100	0	$0,9 \pm 0,3$ 0–2	$8,6 \pm 0,8$ ** 8–17	$15,9 \pm 2,1$ * 7,5–27,5
Показатели крови судака, переведенного из прудов в индустриальные условия, по мере роста					
Комбинированная (3,2)	$98,6 \pm 0,3$ 97–100	0	$1,4 \pm 0,3$ 0–3	$8,6 \pm 0,6$ 5–11	$9,4 \pm 1,3$ 2,0–14,5
Комбинированная (4,6)	$96,8 \pm 0,7$ 93–100	$0,4 \pm 0,2$ 0–1	$2,8 \pm 0,7$ 0–6	$12,8 \pm 0,9$ 8–18	$6,6 \pm 0,7$ 3–9

Примечание: * – различия статистически достоверны при $p \leq 0,05$, ** – при $p \leq 0,01$.

сы 3,2 г включительно, появляются у молоди массой 4,6 г в количестве 0,4%. Наши данные согласуются с литературными, согласно которым полиморфноядерные лейкоциты встречаются в количестве около 0,05% у судака массой до 1,4 г, и увеличивали свое значение до 0,6% у молоди массой более 3,6 г (Голодец, 1954). Остальные показатели крови судака, выращенного комбинированным способом, согласуются с таковыми у судака массой от 0,6 до 5,8 г выращенного в НВХ, чьи средние параметры выглядят следующим образом – лимфоциты – $98,1 \pm 0,6\%$, моноциты – $1,6 \pm 0,2\%$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных результатов по переводу судаков со средней массой 116–627 мг с естественной пищи на искусственные диеты указывает на возможность более раннего отлучения молоди от живых кормов. В экспериментах на личинках средней массой 116 мг во всех вариантах опытного выращивания судак достиг 1 г в схожие сроки – на 25–31-е сут. Это соответствует периоду достижения указанной навески для молоди, переведенной на искусственные корма со средней массы 627 мг, только при более высоких показателях выживаемости (до 69% против

20–40%), роста (среднесуточный прирост 7,3–8,4% против 2,6%) и плотностях посадки (до 12,0 экз./л против 3,2 экз./л). Однако при сравнении результатов выращивания судаков разной стартовой массы, необходимо учитывать, что в отличие от более мелкой молоди, судаки массой 627 мг в период адаптации к индустриальным условиям не получали живые корма, так как науплии артемии являются слишком мелкими для молоди такой навески.

Снижение плотности посадки личинок судака средней массой 116 мг до 2,3 экз./л (бассейн №4), а также ее повышение до 12,0 экз./л (бассейн №5), оказало положительный эффект – молодь раньше перешла на искусственный корм, что выразилось в более быстром наборе массы в первые недели перевода в новые условия, чем при плотности 8,6 экз./л (бассейн №3). Итоговая выживаемость молоди также имела большее значение при пониженной и повышенной плотности выращивания – 69 и 45%, против 37% при плотности посадки 8,6 экз./л. Кроме того, вариант опыта №5 с плотностью выращивания молоди 12,0 экз./л, по итогам эксперимента характеризовался наибольшей рыбопродукцией – 6 г/л, что на 31–67% больше, чем в других вариантах опыта.

Полученные данные согласуются с результатами исследований других авторов (Zakeš, 1997; Szkudlarek, Zakeš, 2002; Molnar et al., 2004a; Policar et al., 2013), которые также обнаруживают, что повышение плотности посадки в определенных пределах не снижает рыболовные показатели судака при переходе на искусственные диеты. Однако в указанных работах средняя начальная масса рыб при смене рационов находилась в диапазоне 0,4–0,9 г. Исключением являются исследования Т. Хубеновой с соавторами (2014), в которых для перевода на искусственный корм авторы использовали молодь средней массой 0,18 г с плотностью посадки 12 экз./л. Выживаемость судака при таких условиях выращивания составляла 53–56%. В целом, на выживаемость судака в районе 50% в период адаптации к искусственному корму указывают и другие авторы, (Zakeš, 1999; Szkudlarek, Zakeš, 2002; Ljunggren et al., 2003; Molnar et al., 2004a; Molnar et al., 2004b; Baranek et al., 2007).

Применение живого корма (науплии артемии) в наших исследованиях позволило улучшить адаптивные свойства прудовой молодки в период ее перевода в промышленные условия при одинаковой плотности посадки (8,6 экз./л) и повысить ее выживаемость до

37%, против 23% по сравнению с единовременным переводом судака на монодиеты из искусственного корма.

Подращивание личинок судака с использованием науплий артемии полностью по промышленной технологии до массы 153 мг в последующем позволяет избежать высокой смертности молоди при ее отлучении от живого корма и адаптации к искусственным диетам. До массы 1 г такая рыба растет 19 сут. при выживаемости 90%. Однако стоит обратить внимание, что перевод «промышленной» молоди на искусственный корм осуществляли при самой низкой плотности посадки в эксперименте — 1,8 экз./л.

В целом, результаты настоящей работы согласуются с материалами наших прошлых исследований (Лютиков, Королев, 2019), в которых было установлено, что молодка судака массой 136 мг лучше адаптируется к искусственному корму и выращиванию в бассейнах, чем более крупные особи массой 300–550 мг (табл. 9).

Сравнительный анализ результатов исследований за 2018–2019 гг., приведенных в таблице 9, показывает, что молодка судака имеет повышенные адаптивные свойства к смене условий выращивания и рационов (с естественной на искусственную диету)

Таблица 9. Сводные результаты исследований по переводу молодки с естественной на искусственную диету в 2018 и 2019 гг.

Год	Начальная масса, мг	Ср. температура воды, °С	Плотность посадки экз./л	Период выращивания до 1 г	Ср. сут. пр., %	Выживаемость, %	<i>m</i> общ., г
Перевод подращенной в прудах молодки судака							
2019	116	21	2,3–12,0	31	6,8–8,4	23–69	98–300
2018	136	17,5 (15–21)	6,7	35	6,3–6,5	49–69	215–312
2018	312	19,0 (17–22)	10,6	24	6,1	29	193
2018	533		2,0	17–19	5,2	64	110
2019	627	21	3,2	27	4,1	20–41	120–236
Перевод подращенной на науплиях артемии в промышленных условиях молодки судака							
2019	153	21	1,8	19	9,7	90	78

при средней массе 116–136 мг, по сравнению с более крупной молодью, массой от 312 до 627 мг. Примечательно, что схожие результаты по росту и выживаемости переводимой с естественной на искусственную пищу судака были достигнуты как на естественном температурном режиме, так и с подогревом воды. В последнем случае наблюдалось закономерное увеличение темпа роста выращиваемых рыб (см. табл. 9), при этом повышение температуры воды не существенно отразилось на сроках начала потребления искусственного корма — 5 сут. при 15–16 °С, 4 сут. при 21 °С.

Сравнение роста подрошенной молоди судака от 116 мг и выше в прудах и промышленных условиях показало преимущество промышленного метода. В заводских условиях судак от 0,116 до 5,9 г вырос за 62 сут. при выживаемости 98%, в пруду — за 91 сут. (выживаемость не оценивалась). Достоинства промышленной технологии общеизвестны, — это возможность полностью контролировать рыбоводный процесс и использовать современные сбалансированные высококалорийные корма в необходимом объеме. В пруду, напротив, кормовая база ограничена и приходит в депрессивное состояние к середине-концу июля по причине выедания зоопланктона и зообентоса молодью, а также массового вылета имаго насекомых, что сдерживает рост сеголеток судака (Королев, 1984). Голодание, смена кормовых организмов и, вероятно, изменение их питательной ценности в процессе развития, негативно отражается на биохимическом составе судака, что в первую очередь выражается в снижении витамина С и жира в теле сеголеток (см. табл. 7).

В общих чертах большинство исследуемых морфофизиологических, биохимических и гематологических параметров переведенного на искусственные корма судака имеют схожее значение с аналогичными показателями у прудовой молоди, что говорит о физиологической полноценности выращенных рыб. Относительно высокое содержание жира в теле промышленной молоди, как

и в случае с лучшей упитанностью и увеличенной печенью, связано, в первую очередь, как с жирностью искусственных диет, так и с большим количеством насыщенных липидов в корме. Относительно низкое значение витамина С у судака переведенного на искусственные диеты, по сравнению с прудовой молодью, вероятно, можно считать нормой, т.к. за период выращивания рыб от 1 до 3,6 г смертность составила менее 2%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты опытного перевода молоди судака с разной начальной массой с живого корма (пруд) на искусственные диеты (бассейны) указывают на перспективность использования в качестве посадочного материала рыб средней массой 0,12 г. Такая молодь характеризуется лучшим ростом и выживаемостью, по сравнению с более крупным судаком, массой около 0,6 г. Последующее выращивание судака в промышленных условиях позволяет получить лучшие результаты, чем культивирование одновозрастной молоди в прудах. Период достижения массы 6 г при бассейновом выращивании сокращается на 32% по сравнению с прудовым, при выживаемости, близкой к 100%.

Перспективным направлением выращивания посадочного материала судака средней массой 1 г может стать биотехнология ее выращивания от личинок в промышленных, полностью контролируемых условиях. При такой технологии молоди не требуется адаптация к бассейновым условиям выращивания. Отлученный от живого корма судак массой 0,15 г достигает 1 г за 19 сут. с высоким показателем выживаемости, равным 90%. Однако подобная биотехнология требует проведения дополнительных исследований, направленных, в первую очередь, на определение оптимальных условий содержания и кормления ранних личинок судака.

Физиологический анализ выращенных комбинированным (прудовым и промышленным) способом сеголеток судака ука-

зывает на сходство морфофизиологических, биохимических и гематологических показателей с прудовой молодью. Это говорит как о полноценности самой рыбы, так и соответствии условий выращивания потребностям молоди судака, включая корма и режимы кормления.

ВЫВОДЫ

1. Судак, выращенный в прудах до средней массы 116 мг, обладает лучшими адаптивными свойствами при переводе в индустриальные условия, чем более крупная молодь средней массой 627 мг.

2. Использование живых кормов (науплий артемии) в период отлучения судака от живого корма, продолжающегося 10 сут., повышает выживаемость молоди на 38%.

3. Увеличение плотности посадки судака средней массой 116 мг с 8,6 до 12,0 экз./л повышает выживаемость молоди на 18%, а ее снижение до 2,3 экз./л — на 46%.

4. Использование индустриальной технологии для подрачивания личинок судака до 153 мг позволяет избежать адапционного периода при переводе их на искусственный корм, а набор массы молодью до 1 г происходит на 19-е сут. выращивания при выживаемости 90%.

5. Культивирование подрощенного от 0,12 г судака в индустриальных условиях позволяет сократить срок его выращивания до 6 г на 32% в сравнении с выращиванием сеголеток в прудах.

6. Большинство морфофизиологических, биохимических и гематологических показателей выращенной комбинированным (прудовым и бассейновым) способом молоди судака сопоставимы с таковыми у одновозрастных рыб, выращенных в прудах.

Благодарности

Авторы выражают признательность сотрудникам лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Бер-

га) А. К. Шуминой и Т. А. Филатовой за помощь в проведении биохимического и гематологического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Винберг Г. Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: Белорусский гос. ун-т, 1956. 251 с.

Голодец Г. Г. Состав крови выращиваемой молоди осетра, леща и судака // Вопр. ихтиологии. 1954. Вып. 2. С. 114–119.

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.

Королев А. Е. Опыт применения искусственных кормов при подрачивании личинок судака // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 2005. Вып. 333. С. 287–316.

Лютиков А. А., Королев А. Е. Опыт перевода молоди судака (*Sander lucioperca*) с естественной пищи на искусственный корм // Вопр. рыболовства. 2019. Т. 20. №4. С. 468–481.

Остроумова И. Н., Костюничев В. В., Лютиков А. А. и др. Включение в стартовые корма для сиговых рыб (*Coregonidae*) бактериальной биомассы и белковых гидролизатов // Там же. 2018. Т. 19. №1. С. 82–98.

Хубенова Т., Зайков А., Кацаров Е., Терзинский Д. Влияние на гъстота на помудката върху нарастването и оцеляемостта на бялата риба (*Sander lucioperca* L.) през периода на преход от естествена храна към гранулиран фураж // Селскопанска академия, Животновъдни науки, 2014. Т. 51. №4. С. 36–40.

Baer J., Zienert S., Wedekind H. Neue Erkenntnisse zur Umstellung von Natur auf Trockenfutter bei der Aufzucht von Zandern (*Sander lucioperca* L.) // Fischer und Teichwirt. 2001. V. 7. P. 243–244.

Baránek V., Dvořák J., Kalenda V., Mareš J., Zrůstová J., Spurný P. Comparison of two weaning methods of juvenile pikeperch *Sander lucioperca* from natural diet to commer-

cial feed // The Conference Mendel Net'07. 2007. 45 p.

Hamza N., Mhetli M., Kestemont P. Effects of weaning age and diets on ontogeny of digestive activities and structures of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae // Fish Physiol Biochem. 2007. V. 33. P. 121–133.

Hubenova T., Zaikov A., Katsarov E., Terziyski D. Weaning of juvenile pikeperch (*Sander lucioperca* L.) from life food to artificial diet // Bulgarian J. Agricultural Science, 21 (Supplement 1), Agricultural Academy. 2015. P. 17–20.

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. V. 217. P. 401–405.

Ljunggren L., Staffan F., Falk S., Linden B., Mendes J. Weaning of juvenile pikeperch, *Stizostedion lucioperca* L., and perch, *Perca fluviatilis* L., to formulated feed // Aquacult. Res. 2003. V. 34. P. 281–287.

Mani-Ponset L., Diaz J.P., Schlumberger O., Connes R. Development of yolk complex, liver and anterior intestine in pike-perch larvae, *Stizostedion lucioperca* (Percidae), according to the first diet during rearing // Aquat. Living. Resour. 1994. V. 7. P. 191–202

Molnár T., Hancz Cs., Molnár M., Horn P. The effects of diet and stocking density on the growth and behaviour of pond pre-reared pikeperch under intensive conditions // J. Appl. Ichthyol. 2004a. V. 20. P. 105–109.

Molnár T., Hancz Cs., Bódis M., Müller T., Bercsényi M., Horn P. The effect of initial stocking density on growth and survival of pike-perch fingerlings reared under intensive conditions // Aquacult. Internat. 2004 b. V. 12. P. 181–189.

Nyina-wamwiza L., Xu X., Blanchard G., Kestemont P. Effect of dietary protein, lipid and carbo-hydrate ratio on growth, feed efficiency and body composition of pikeperch *Sander lucioperca* fingerlings // Aquacult. Res. 2005. V. 36. P. 486–492.

Ostaszewska T. Developmental changes of digestive system structures in pike-perch (*Sander lucioperca* L.) // Electronic journal of ichthyology. 2005. V. 2. P. 65–78.

Policar T., Stejskal V., Kristan J., Podhorec P., Svinger V., Blaha M. The effect of fish size and stocking density on the weaning success of pond-cultured pikeperch *Sander lucioperca* L. juveniles // Aquacult. Int. 2013. V. 21. P. 869–882.

Schulz C., Günther S., Wirth M., Rennert B. Growth performance and body composition of pike perch (*Sander lucioperca*) fed varying formulated and natural diets // Aquacult. Int. 2006. V. 14. P. 577–586.

Szkudlarek M., Zakęś Z. The effect of stock density on the effectiveness of rearing pikeperch *Sander lucioperca* (L.) summer fry // Arch. Pol. Fish. 2002. V. 10. P. 115–119.

Zakęś Z. Effect of stock density on the survival, cannibalism and growth of summer fry of European pikeperch (*Stizostedion lucioperca* L.) fed artificial diets in controlled conditions // Arch. Pol. Fish. 1997. V. 5. P. 305–311.

Zakęś Z. The effect of body size and water temperature on the results of intensive rearing of pike-perch, *Stizostedion lucioperca* (L.) fry under controlled conditions // Arch. Pol. Fish. 1999. V. 7. P. 187–199.

Zienert S. Ergebnisse bei der Aufzucht von Zandern // Fischer und Teichwirt. 2003. V. 8. P. 296–298.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL WEIGHT AND DENSITY OF JUVENILE PIKEPERCH (*SANDER LUCIOPERCA*) AFTER TRANSFER FROM POND TO INDUSTRIAL CONDITIONS

© 2020 y. A. A. Lyutikov, A. E. Korolev

*L. S. Berg State Research Institute for Lake and River Fisheries,
Saint-Petersburg, 199053*

The work presents the results of studies to determine the optimal weight and stocking density of juvenile pikeperch during transfer from pond to industrial growing conditions. It is shown that larvae with an average weight of 116 mg are better adapted to transfer from ponds to pools for artificial feed than juveniles weighing 627 mg. In both cases, pikeperch fingerlings reached the weight of 1 g in 25–31 days, but pikeperch juveniles with a lower weight had higher survival rates (up to 69% vs. 20–40%), growth (average daily increase of 7,3–8,4% vs. 2,6%) and stocking density (up to 12,0 individuals per liter vs. 3,2 individuals per liter). The decrease of stocking density to 2,3 individuals per liter and its increase to 12,0 individuals per liter determined a faster growth of juveniles in the pools in the first weeks of rearing than at a stocking density of 8,6 individuals per liter, which indirectly indicates an earlier adaptation of juveniles to new conditions and the transition to an artificial diet. The survival rate of pikeperch was also higher with a reduced (2,3 individuals per liter) and increased (12,0 individuals per liter) growing density – 69 and 45%, respectively, against 37% with the stocking density of 8,6 individuals per liter. The results of pikeperch rearing at the stocking density of 12,0 individuals per liter were characterized by the highest fish productivity – 6 g/l, which is 31–67% more than in other versions of the experiment. The use of live feed (*Artemia Nauplius*) allowed to improve the adaptive properties of pond juveniles during their transfer to industrial conditions and increase their survival rate to 37%, against 23% compared to a one-time transfer of pikeperch to mono diets from artificial feed (with the same stocking density of 8,6 individuals per liter). The physiological analysis of pikeperch fingerlings grown in a combined (pond and industrial) way indicates the similarity of morphophysiological, biochemical and hematological parameters with pond juveniles, which indicates both the usefulness of the fish itself and the growing conditions for the needs of pike perch juveniles, including feed and feeding regimes.

Keywords: pikeperch, *Sander lucioperca*, aquaculture, juveniles, ponds, industrial technologies, pools, artificial feed.