

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАССЫ ТЕЛА, ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ, ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВЫРАЩИВАНИЯ И СОСТАВА КОРМОВ ПРИ АДАПТАЦИИ МОЛОДИ СУДАКА (*SANDER LUCIOPERCA*) ИЗ ПРУДОВ К ИНДУСТРИАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ

© 2021 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: tokto@mail.ru

Поступила в редакцию 1.07.2021 г.

Представлены результаты исследований по определению оптимальных показателей массы тела молоди судака, выращенной в прудах, плотности посадки, температурного режима выращивания и состава искусственных кормов при ее адаптации к промышленным условиям. Установлено, что лучшими адаптивными свойствами характеризовалась молодь средней массой 101 мг, которая быстро (в течение 3–4 сут) перешла на потребление искусственного корма и достигла 1 г за 25 сут. Показатель среднесуточного прироста при этом составил 9,4%, выживаемости — 93%. Напротив, молоди, которая выросла в прудах до средней массы 452 мг, потребовалась двухнедельная адаптация к новым условиям выращивания и кормам. В этот период она не питалась и проявляла признаки каннибализма, что привело к потере массы тела до 30% и смертности до 58%. При выращивании адаптированного к бассейновому содержанию судака лучшие результаты были получены в условиях низкой плотности посадки (2,7 экз./л) при температуре воды 22–23 °С. Молодь в таких условиях за три недели выращивания достигла массы 2,72 г при выживаемости 69%. Испытание различных экспериментальных диет показало, что включение в рецептуру корма микробной биомассы (25% от общего состава корма) повышает скорость роста молоди в среднем на 17%, а выживаемость — на 13% по сравнению с молодью, получавшей контрольный корм, содержащий в качестве источника протеина комбинацию компонентов в виде соевого кормового концентрата (12% от общего состава корма) и сухого белка яйца (11% от общего состава корма). Полная замена в корме рыбьего жира (контрольный корм) на льняное масло способствовала повышению на 16% темпа роста и на 16% выживаемости молоди по отношению к контрольному варианту. Результаты проведенных биохимических исследований культивируемого в промышленных условиях судака указывают на снижение у молоди уровня содержания жира и белка с повышением температуры воды. Замена в экспериментальной диете рыбьего жира на льняное масло приводит к снижению общих липидов в теле судака (на 9%), а введение в корм высокобелковых продуктов микробиологического синтеза вместо растительных и яичных протеинов повышает у молоди уровень белка (до 9%). Гематологические показатели судака, выращенного в различных температурных условиях и на разных рационах (в т.ч. коммерческом корме Биомар), установили достоверное снижение уровня незрелых эритроцитов при повышении температуры воды и снижении доли нейтрофилов при замене в рационе рыбьего жира на растительное масло у подопытной молоди судака. Сравнение биохимических показателей судака, выращенного в различных условиях (пруды и бассейны рыбоводного хозяйства), показало снижение у молоди из прудов, по сравнению с культивируемой в заводских условиях молоди, общего жира (2,5 против 6,3% в среднем), белка (15,8 против 16,9%) и витамина С (25,1 против 54,3 мкг/кг), и вы-

сокую влажность (78,4 против 73,2%) в теле рыб. Гематологические показатели молоди, подрощенной в прудах, характеризовались относительно низкой долей зрелых лимфоцитов (84,5 против 88,1–90,8%), количества лейкоцитов (5,5 против 6,8–8,4 шт. из 500 эритроцитов) и незрелых эритроцитов (3,7 против 5,4–7,6 из 200 шт.), и повышенными долями нейтрофилов (2,2 против 0,2–0,8%) и моноцитов (6,3 против 2,5–5,7%) по сравнению с судаком, выращенным комбинированным методом: вначале в прудах и далее в промышленных условиях. В целом, биохимические и гематологические исследования сеголеток судака не выявили явных патологий и значительных отклонений от физиологической нормы, что говорит о нормальном состоянии и развитии культивируемых в заводских условиях рыб.

Ключевые слова: судак, *Sander lucioperca*, аквакультура, молодь, пруды, промышленные технологии, бассейны, плотность посадки, искусственный корм, биохимический и гематологический анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Судак — ценный промысловый вид и перспективный объект аквакультуры. В связи с отсутствием искусственных стартовых кормов, соответствующих потребностям ранних личинок, особенностью технологии культивирования судака является использование живого корма в первые недели после вылупления с последующим переводом на искусственные диеты. При прудовом выращивании живым кормом является зоопланктон водоема, при промышленном — микроводоросли, коловратки, науплии артемии и др. Успешное исключение живых кормовых организмов из рациона личинок и их адаптация к искусственным диетам невозможна без учёта целого ряда рыбоводных показателей, среди которых наиболее значимыми являются начальная масса рыб, плотность посадки, режим кормления и температура воды. Анализ литературных источников и данных, полученных в ходе исследований в прошлые годы (Лютиков, Королев, 2019, 2020), позволил определить наиболее оптимальные величины указанных рыбоводных показателей, представленных ниже.

Масса рыб — ключевой фактор, определяющий успех адаптации молоди судака к бассейновому выращиванию и искусственным кормам (Zakęś, 1999). До недавнего времени считалось, что

хорошими адаптивными свойствами обладает судак, подрощенный в прудах до массы около 400 мг (Baer et al., 2001; Zienert, 2003), однако позже было определено, что личинки с меньшей массой (не более 200 мг) лучше переходят на искусственные диеты и быстрее адаптируются к содержанию в бассейнах (Хубенова и др., 2014; Hubenova et al., 2015). Собственные исследования по переводу судака из прудов в промышленные условия показали возможность успешного перевода молоди на искусственные корма при массе около 120–140 мг (Лютиков, Королев, 2019, 2020). В экспериментах личинки судака средней массой 120 мг достигают 1 г за 25–31 сут, что соответствует сроку достижения указанной навески для молоди, переведенной на искусственные корма со средней массы 300–600 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 11,4 экз./л против 2,4 экз./л).

Плотность посадки молоди в выростные емкости является не менее важным критерием, позволяющим осуществить успешную адаптацию судака к искусственным диетам. При массе судака 120–200 мг хорошие результаты были получены при плотности посадки рыб, равной 6–7 экз./л (Лютиков, Ко-

ролев, 2019, 2020; Hubenova et al., 2015). Также была показана возможность увеличения плотности до 12 экз./л без снижения показателей роста и выживаемости (Хубенова и др., 2014). По нашим данным повышение плотности посадки судака до 11,4 экз./л способствовало более раннему его переходу на искусственный корм, чем при плотности 8,6 экз./л, а также положительно отражалось на итоговой выживаемости и ихтиомассе. Полученные нами данные согласуются с результатами зарубежных исследований, в которых повышение плотности посадки судака массой 0,4–0,9 г способствовало более быстрой его адаптации к искусственным диетам (Zakes, 1997; Szkudlarek, Zakes, 2002; Molnar et al., 2004a; Policar et al., 2013).

Вне зависимости от массы и плотности посадки переводимого на искусственные корма судака, единовременный вывод *живого корма* из рациона личинок сопровождается их голоданием и повышенной смертностью, в связи с чем, перевод судака на новые, искусственные, диеты должен быть постепенным. Для судака с относительно небольшой массой (100–150 мг) в период адаптации к искусственным кормам заменой прудовому зоопланктону могут являться науплии артемии, широко используемые в аквакультуре. Применение артемии позволяет улучшить адаптивные свойства прудовой молоди в период ее перевода в промышленные условия и повысить выживаемость в среднем на 34%, по сравнению с переводом судака сразу на монодиеты из искусственного корма. Важным моментом при этом выступает состав диет и их питательная ценность, что требует дополнительного изучения.

Известно, что на активность потребления и усвоения молодью рыб кормов, как искусственных, так и живых,

влияет *температура воды*. Результаты собственных исследований по адаптации прудового судака к искусственной пище показали, что повышение температуры воды не существенно отражается на сроках начала потребления искусственного корма — 5 сут при 15–16 °С, 4 сут при 21 °С (Лютиков, Королев, 2020).

Учитывая важность перечисленных выше факторов для успешного перевода судака с живой пищи (при содержании молоди в прудах) на искусственные корма (промышленные условия), целью настоящей работы явилось исследование стартовой средней массы и плотности посадки рыб, а также температурного режима и состава искусственных кормов в период адаптации молоди из прудов к промышленным условиям. Уточнение указанных рыбоводных параметров позволит разработать промышленную технологию получения жизнестойкой молоди судака, в том числе при естественном температурном режиме, что является крайне важным фактором для рыбоводных хозяйств, не имеющих технических средств для подогрева воды.

Для осуществления поставленной цели определены следующие задачи:

- выращивание молоди судака в прудах на зоопланктоне до массы 100–450 мг и перевод молоди в промышленные условия;
- адаптация и дальнейшее выращивание судака массой 100–450 мг в бассейнах с различными температурными режимами, плотностями посадки и искусственными кормами;
- использование в качестве корма экспериментальных искусственных диет с разными белковыми и жировыми компонентами для определения наиболее подходящих из них потребностям молоди судака.

Дополнительно в рамках настоящих исследований для оценки возможности культивирования судака полностью в промышленных условиях было проведено выращивание личинок в аппаратах ВНИИПРХ с различными плотностями посадки и температурными условиями, с последующим переводом молоди с различной средней массой (от 75 до 157 мг) на искусственные диеты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для выполнения исследований явилась молодь судака, которая была получена от производителей, содержащихся в садках рыбоводного хозяйства ООО «Форват» (оз. Суходольское, Ленинградская обл.). 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 промышленные условия, подробно приведено в ранее опубликованных работах (Лютиков, Королев, 2019, 2020).

Для получения личинок судака было задействовано 20 самок-производителей, которых рассадил в 3 нерестовых бассейна площадью 4 м² каждый, разделенных на 4 секции с размещенными на дне рамками с капроновой делью (искусственный субстрат). Соотношение производителей на гнездах соответствовало 1♀/1♂ и 2♀/2♂. Средняя длина самок, участвовавших в нересте, составляла 39,5±1,7 см (колебания — от 32 до 47 см; Cv=14,2), индивидуальная масса — 0,88±0,12 кг (колебания от 0,5 до 1,54 кг; Cv=48,8). Температура воды в нерестовый период находилась в интервале 14–18 °С. Всего во время нереста было получено 1,4 млн шт. икры.

Икру инкубировали в модифицированной моросильной камере Войнаровича (Королев, Терешенков, 1995). После достижения эмбрионами VI–VII стадии развития икру переносили на доинкубацию в бассейны с водой. Выживаемость икры при таком способе инкубации составила около 98%. Вылупившихся предличинок выдерживали в бассейнах около 3 сут до перехода на горизонтальный плав, после чего исследовали возможность культивирования молоди судака по промышленной и комбинированной технологии. Обе технологии включают в себя два этапа, на первом из которых молодь судака выращивали с использованием живых кормов (однодневные науплии артемии для промышленной технологии и прудовый зоопланктон для комбинированной), на втором этапе подрощенную в заводских условиях до массы 75–150 мг и в прудах до 100–450 мг молодь переводили на искусственные диеты.

Выращивание личинок судака по промышленной технологии проводили в аппаратах ВНИИПРХ объемом 80 и 120 л с нижней водоподачей, обеспечивающей апвеллинг и длительное пребывание кормов в толще воды (Королев, 2005). Плотность посадки в аппараты составляла 50 и 75 экз./л. В качестве корма использовали науплии артемии в сочетании с экспериментальной диетой рецептуры ГосНИОРХ, разработанной специально для окуневых рыб (Лютиков и др., 2020). Соотношение живого и искусственного корма при выращивании личинок соответствовало 2:1. К кормлению ранних личинок приступали в день рассадки, корм давали по поедаемости. Личинок кормили каждый час с 8:00 до 22:00 ч. После достижения массы 75–150 мг молодь переводили на выращивание в круглые пластмассовые экспериментальные бассейны

черного цвета объемом 60 л (фактический объем воды составлял около 50 л). Кормление личинок в бассейнах осуществляли по той же схеме, что и в аппаратах ВНИИПРХ, с той разницей, что живые науплии артемии применяли только в первую неделю перевода молоди на искусственные диеты.

По комбинированной технологии подращивание ранних личинок судака проводили в двух прудах общей площадью 9 га, в которые предварительно были помещены в общей сложности 819 тыс. икринок. После достижения молодь средней массы 101 и 452 мг был осуществлен ее отлов и перевозка в заводские условия, где выращивание проводили в бассейнах (описание бассейнов приведено выше). Количество используемых рыбоводных емкостей и личинок судака в эксперименте представлено в таблице 1, схема эксперимента — в таблице 2.

Личинки, подрощенные в прудах до массы 101 мг, в первую неделю вы-

ращивания в заводских условиях получали живой корм (науплии артемии), который чередовали с искусственным коммерческим кормом. При адаптации к индустриальным условиям и дальнейшим выращивании молоди судака массой 452 мг науплии артемии не использовали из-за их малых размеров, а применяли только экспериментальные и коммерческие искусственные диеты. В качестве коммерческого корма использовали корм фирмы «БиоМар». Размеры гранул корма увеличивали по мере роста рыб. По сведениям производителя БиоМар Иницио Плюс Джи (0,4 мм) содержит 60% протеина и 10% жира, Иницио Плюс 901 (0,5 мм) — 57% протеина и 18% жира. Среди экспериментальных диет (№№ 1, 3, 6) были испытаны корма с различными источниками белка и жира, рецептуры которых приведены в таблице 3. Во время исследований во всех вариантах опыта корма подавали с избытком — около 15% в первые 10 сут кормления и 7–10% в последующий

Таблица 1. Количество посадочного материала и плотности посадки судака в эксперименте

Этап выращивания	Количество прудов/емкостей, шт.	Средняя масса молоди при посадке, мг	Плотность посадки, тыс. экз./га	Плотность посадки, экз./л	Количество посадочного материала, тыс. экз. (экз.)
Комбинированный способ					
1. Выращивание молоди в прудах *	2	икра	91	-	819
2. Выращивание в бассейнах	1	101	-	3,4	(69)
	7	452	-	2,7–3,9	1,16
Индустриальный способ					
1. Выращивание в ап. ВНИИПРХ	3	0,4	-	50–75	26,1
2. Выращивание в бассейнах	2	75–157	-	5,5	1,2

Примечание. * — подращивание молоди осуществлялось в прудах крестьянского хозяйства К.А. Аверченкова (Приозерский район, Ленинградской обл.).

Таблица 2. Схема эксперимента

Выращивание личинок судака в промышленных условиях							
Дата начала исследований	12 июня						
Продолжительность опыта, сут	31						
Аппарат ВНИИПРХ, №	1В		2В			3В	
Температурные условия	18→23		Естественный температурный режим				
Корм	Иницио Плюс Джи, Иницио Плюс 901						
Начальная масса молоди, мг	0,4						
Плотность посадки, экз./апп.	7500		11000			7500	
Плотность посадки, экз./л	50		75			50	
Адаптация прудовой молоди к промышленным условиям выращивания							
Дата начала исследований	27 июня					3 июля	
Продолжительность опыта, сут	14					25	
Бассейн/вариант опыта, №	1А	2А	3А	4А	5А	6	
Температурные условия	22–23 °С		Естественный температурный режим				
Корм	Иницио Плюс Джи, Иницио Плюс 901					Иницио Плюс Джи, науплии артемии	
Начальная масса молоди, мг	452					101	
Плотность посадки, экз./басс.	700		500		356	69	
Плотность посадки, экз./л	14		10		7	3,4	
Выращивание адаптированной к промышленным условиям молоди							
Дата начала исследований	8 июля						
Продолжительность опыта, сут	21						
Бассейн/вариант опыта, №	1	2	3	4	5	7	8
Температурные условия	22–23 °С		Естественный температурный режим				
Корм (название, №)	Иницио Плюс Джи и 900				1	3	6
Начальная масса молоди, мг	296	349	341	355	299	347	324
Плотность посадки, экз./басс.	193	137	137	211	160	159	164
Плотность посадки, экз./л	3,9	2,7	2,7	4,2	3,2	3,2	3,3

Таблица 3. Особенности состава и питательная ценность экспериментальных искусственных кормов рецептуры ГосНИОРХ для молоди судака

Компонент корма	Производитель	Корм, №		
		1	3	6
		Содержание, %		
Рыбная мука	АО «Атлантрыбфлот», г. Калининград	36	35	35
Микробный белок	ООО «Гипробиосинтез», г. Москва	25	-	-
Сухой белок яйца	АО «Птицефабрика Роскар», Ленинградская обл.	-	11	11
Соевый кормовой концентрат «Протефид»	ЗАО «Партнер-М», Калужская обл.	-	12	12
Фосфолипиды соевые	ООО «Центр соя», Краснодарский край	8	8	8
Рыбий жир	ООО «Альфа-вета.ком», Санкт-Петербург	2	2	-
Льняное масло	«Бизнесойл», Московская обл.	-	-	2
Протеин		54,3	53,4	53,4
Жир		14,3	12,7	12,5

период. Кормление осуществляли вручную.

Особенностью исследований являлось выращивание молоди судака как с подогревом воды до температуры 22–23 °С, так и при естественной температуре водоисточника — оз. Суходольского (динамика среднесуточной температуры воды в заводских условиях в период исследований представлена на рисунке).

Аналитическая работа проводилась в лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (ГосНИОРХ им. Л.С. Берга). Биохимические, морфофизиологические и гематологические исследования проводились по общепринятым методикам, которые описаны нами ранее (Лютиков, Королев, 2019, 2020). Статистический анализ полученных данных проводили по общепринятой методике (Лакин,

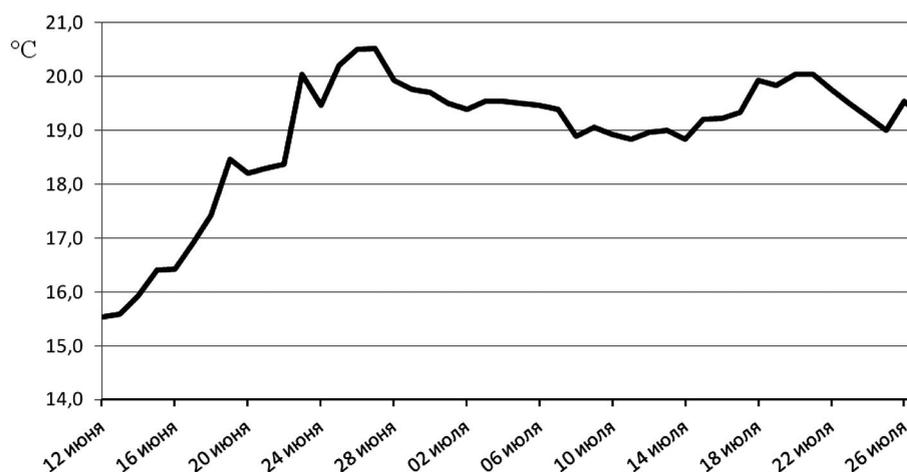


Рисунок. Температурный режим воды в период выращивания молоди судака в аппаратах ВНИИПРХ № 2, № 3 и бассейнах №№ 3–8.

1980) с использованием соответствующего пакета прикладной программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выращивание личинок в индустриальных условиях

Лучшим ростом характеризовалась молодь, выращиваемая с подогревом воды при относительно низкой плотности посадки (вариант № 1В). Повышение температуры воды в варианте № 1В ускорило рост личинок, которые на 25 сут выращивания имели массу, равную 40,9 мг, против 28,7 мг в варианте № 2В без подогрева воды. Повышение плотности посадки с 50 до 75 экз./л снизило темп роста и выживаемость личинок судака, культивируемых в естественном температурном режиме. Конечная масса и выживаемость молоди по итогам 31 сут исследований в варианте № 2В составили 104,2 мг и 2,7%, соответственно, против 156,5 мг и 4,6% в варианте № 3В (табл. 4).

После достижения личинками средней массы 76, 104 и 156 мг была осуществлена их пересадка из аппаратов ВНИИПРХ в два экспериментальных бассейна. Перед этим молодь не кормили около 14 ч, а сама пересадка заключалась в сни-

жении уровня воды в рыбоводной емкости, отлове молоди из аппарата с помощью миски и переносе в бассейны, т.е. молодь все время находилась в воде. Несмотря на следование такой методике, смертность судака в первые часы после пересадки достигала 30%, что послужило снижению численности рыб с 1174 до 806 экз. В последующие двое суток смертность оставалась на высоком уровне — 45%, общее количество рыб в бассейнах сократилось до 443 экз., а плотности посадки — до 4 экз./л.

Оставшаяся в живых молодь достигла массы 1 г на 14–20 сут после высадки из аппаратов при выживаемости 14% (174 экз.). Среднесуточный прирост за период выращивания находился в диапазоне 12,4–15,1%.

Адаптация прудовой молоди к индустриальным условиям

Исследования по адаптации подращенной в прудах молоди судака к индустриальным условиям были проведены на молоди со средней начальной массой 101 и 452 мг.

Судак меньших размеров проявил лучшие адаптивные способности — быстрее и с меньшей смертностью перешел на искусственный корм, чем крупная молодь. С момента пересадки из прудов

Таблица 4. Рост и выживаемость ранней молоди судака в индустриальных условиях при различных температурных режимах и плотностях посадки

Аппарат/ вариант опыта, №	Плотность посадки, экз./л	t °С	Возраст, сут						Выживаемость, %
			19		25		28	34	
			м, мг	ССП, %	м, мг	ССП, %	м, мг		
1В	50	18–23	18,2	23,2	40,9	16,2	76,3	–	7,1
2В	75	16–20	9,5	19,4	22,8	17,5	–	104,2	2,7
3В	50	16–20	12,9	21,2	28,7	16,0	–	156,5	4,6

Примечание. Здесь и далее в таблицах 5 и 7 — m — средняя индивидуальная масса молоди, ССП — среднесуточный прирост.

в бассейны молодь массой 101 мг достигла массы 1 г за 25 сут при показателе среднесуточного прироста 9,4% и выживаемости 93%. Выращивание молоди осуществлялось при естественном температурном режиме и невысокой плотности посадки — 3,4 экз./л.

Судак, подроженный в прудах до массы 452 мг, при переводе в индустриальные условия практически не потреблял искусственные диеты. Это привело к двухнедельному голоданию рыб, сопровождающемуся потерей их массы до 30% и началом каннибализма. Смертность голодающих и травмированных от каннибализма рыб за 14 сут адаптации составила 58% вне зависимости от температурного режима (естественные температуры или подогрев воды) и плотности посадки молоди (от 7 до 14 экз./л).

К моменту потребления искусственных кормов подавляющим большинством рыб произошло снижение смертности, а масса молоди судака после двух недель адаптации к новым условиям выращивания снизилась с 452 до 300–350 мг.

Выращивание молоди, адаптированной к индустриальным условиям, в различных температурных режимах и с различной плотностью посадки

При выращивании адаптированного к индустриальным условиям судака с массой 300–350 мг лучшие результаты были получены в варианте опыта № 2, в котором был использован подогрев воды до 22–23 °С и низкая плотность посадки (2,7 экз./л) — за три недели выращивания масса молоди составила 2,72 г, выживаемость — 69% (табл. 5). Повышение плотности посадки до 3,9 экз./л и подогрев воды до 23 °С (вариант опыта № 1) привели к дефициту кислорода в выростной емкости и, как следствие, замедлению роста и снижению выживаемости рыб до 49%. Содержание растворенного в воде кислорода в варианте опыта № 1 составляло 3,2 мг/л при 60% нормального насыщения, в других вариантах опыта эти показатели были не ниже 6 мг/л и 70%, соответственно.

Увеличение плотности посадки молоди с 2,7 (вариант опыта № 3) до 4,2 экз./л (вариант опыта № 4) в естественном температурном режиме (19–20 °С)

Таблица 5. Рост и выживаемость адаптированной к индустриальным условиям молоди судака с начальной средней массой 300–350 мг при различных температурных режимах выращивания и плотностях посадки

Бассейн/ вариант опыта, №	Плотность посадки, экз./л	t °С	Продолжительность эксперимента, сут				ССП, %	Выживаемость, %	Ихтиомасса, г
			1	6	13	21			
			Средняя масса молоди, г						
1	3,9	22–23	0,30	0,83	1,14	2,16±0,10 ^{a, c}	9,9	48,7	203
2	2,7		0,35	1,08	1,65	2,72±0,08 ^b	10,3	69,3	258
3	2,7	19–20	0,34	0,82	1,33	1,80±0,08 ^{c, d}	8,3	66,4	163
4	4,2		0,36	0,68	1,11	1,67±0,09 ^d	7,8	70,6	249

Примечание. Здесь и далее — приведены среднее значение признака и его ошибка; средние массы с различными буквенными индексами имеют достоверные различия при уровне значимости $p \leq 0,05$

немного снижало темп роста судака (конечная масса 1,8 и 1,7 г, соответственно) и повысило смертность — 34% (вариант опыта № 3) против 39% (вариант опыта № 4). Конечная ихтиомасса в варианте опыта № 4 была больше, чем в варианте опыта № 3 (аналогичные температурные условия и меньшая плотность посадки) и № 1 (подогрев воды и близкая плотность посадки), но уступала ихтиомассе в варианте опыта № 2 (подогрев воды и низкая плотность посадки) (табл. 5).

При анализе полученных результатов роста рыб в бассейнах в различных температурных условиях было проведено сравнение с одновозрастной молодью судака, выращенной в прудах (табл. 6). Молодь из прудов имела наименьшую массу и упитанность, уступавшую таковой у рыб, содержащихся в заводских условиях, как с подогревом воды, так и без него.

Выращивание адаптированной к индустриальным условиям молоди с использованием различных рецептур кормов

Испытание различных кормов при выращивании судака показало, что включение в экспериментальную диету микробной биомассы (корм № 1) повы-

шает темп роста молоди относительно контрольного корма, в котором в качестве альтернативного источника протеина были использованы растительный белок и белок яйца (корм № 3). В первую неделю среднесуточный прирост судака, получавшего корм № 1, составлял 9,6%, корм № 3—8,7%. В последующие 8 сут превосходство стало более выраженным — 6,8 против 5,6%, соответственно (табл. 7). Наличие в корме № 1 бактериальной биомассы позволило повысить скорость роста молоди в среднем на 17%, а выживаемость на 13% по сравнению с контролем.

Замена рыбьего жира на льняное масло в корме (№ 6) также способствовала повышению темпа роста и выживаемости молоди на 1,1 и 5,1% (абсолютные величины), соответственно, по отношению к контрольному варианту.

Анализ морфометрических параметров фиксированной в 4% формальдегиде в конце эксперимента молоди, показал достоверные отличия в длине и массе рыб, выращенных на различных кормах. Наибольшими размерами характеризовался судак, получавший корм № 1 с микробной биомассой в составе, наименьшими — контрольный корм № 3 (табл. 8). Коэффициент упитанности (Fu) всей выращенной на экс-

Таблица 6. Размерно-весовые показатели молоди судака, выращенной в индустриальных условиях и пруду.

Температура, °С	Плотность посадки, экз./л	Корм	Длина тела AD, см	Масса тела, г	Fu, %
22–23	2,7	Biomar Inicio Plus	5,5±0,07 ^a	2,2±0,08 ^a	1,32 ^{a, b}
19–20	2,7		5,1±0,09 ^{b, c}	1,5±0,08 ^b	1,16 ^b
18–23	-	Естественный (пруд)	5,2±0,04 ^c	1,2±0,04 ^c	0,87 ^c

Примечание. Здесь и далее в таблице 8 — промеры проведены на фиксированной в 4% формальдегиде молоди (n=30 экз.), AD — стандартная длина рыбы (без хвостового плавника), Fu — коэффициент упитанности по Фультону.

Таблица 7. Рост и выживаемость адаптированной к индустриальным условиям молоди судака с начальной средней массой 300–350 мг на различных экспериментальных кормах

Бассейн/ вариант опыта, №	Корм, №	Продолжительность эксперимента, сут				ССП, %	Выживаемость, %	Ихтио- масса, г
		1	6	13	21			
		Средняя масса молоди, г						
5	1	0,30	0,45	1,04	1,79±0,10 ^a	8,9	40,0	115
7	3 (контроль)	0,35	0,50	0,88	1,35±0,15 ^b	6,8	32,1	69
8	6	0,32	0,59	1,00	1,57±0,08 ^c	7,9	37,2	96

Примечание. Особенности корма приведены в таблице 3; плотность посадки во всех вариантах опыта составляет 3,2–3,3 экз./л, температурный режим естественный.

Таблица 8. Морфометрические параметры молоди судака, выращенной на различных диетах

Корм, №	Плотность посадки, экз./л	t °C	AD, см	m, г	Fu, %
1	3,2	19–20	5,0±0,10 ^a	1,54±0,06 ^a	1,23
3 (контроль)	3,2		4,5±0,21 ^b	1,09±0,15 ^b	1,20
6	3,3		4,8±0,10 ^c	1,32±0,08 ^c	1,19

периментальных кормах молоди находился на одном уровне.

Коэффициент вариации (Cv) длины и массы тела исследованных рыб не превышал 8 и 23%, соответственно. Исключением стал вариант с контрольным кормом, показавший сильную вариабельность размерных признаков: Cv длины молоди составил 15%, массы — 45%.

Биохимический анализ

Молодь, выращенная в более теплых условиях, характеризовалась относительно низким уровнем жира (на 14%) и белка (на 9%), чем судак, содержащийся в естественном температурном режиме (табл. 9).

Сравнение биохимических параметров судака, потреблявших различные

Таблица 9. Химический состав тела молоди судака в эксперименте

Исследуемые параметры	Влажность, %	Содержание в сырой массе			
		жир, %	белок, %	зола, %	витамин С, мкг/г
Температура, °C					
22–23	73,5	5,81	16,01	3,11	56,4
19–20 (Биомар)	71,2	6,73	17,49	3,36	56,2
Корм, №					
1	73,2	6,22	17,89	3,76	49,0
3 (контроль)	74,4	6,57	16,29	3,41	56,6
6	73,9	5,90	16,84	3,21	53,2
Технология выращивания					
Пруд	78,4	2,45	15,83	3,58	25,1

корма, указывает на тенденцию снижения общего жира в теле молоди (на 9%) при введении в диету льняного масла вместо рыбьего жира, а также повышения уровня белка (до 9%) при замене растительных и яичных протеинов на белковые продукты микробиологического синтеза. Введение в диету микробиального продукта отразилось на снижении на 13% витамина С у молоди, относительно контрольных рыб.

Биохимический анализ одноразмерной и одновозрастной молоди, выращенной в прудах, с последующим сравнением с заводской молодью, указывает на относительно низкие показатели общего жира (2,5 против 6,3% в среднем), белка (15,8 против 16,9%) и витамина С (25,1 против 54,3 мкг/кг), и высокую влажность (78,4 против 73,2%) в теле рыб.

Гематологический анализ

В результате прямого подсчета клеток красной и белой крови судака косвенным методом на сухом мазке было установлено сходство большинства ге-

матологических показателей сеголеток, выращенных в эксперименте (табл. 10). Достоверные отличия были определены в снижении уровня незрелых эритроцитов в крови молоди судака с 6,7 до 5,4% при повышении температуры воды с 19–20 до 22–23 °С.

Использование в диете судака нестандартных компонентов — микробиальной биомассы и льняного масла, не привело к существенному изменению гематологических показателей молоди, относительно контроля (корм № 3), за исключением двукратного снижения доли нейтрофилов в крови молоди, потреблявшей корма с растительным маслом (табл. 10). Сравнение показателей крови судака, получавшего экспериментальные диеты, с одновозрастной молодью, потреблявшей коммерческий корм Биомар (в варианте опыта с естественным температурным режимом), не обнаруживает существенных отличий.

Бóльшие отличия в картине крови культивируемого судака были определены при сравнении молоди, культивируемой в заводских и прудовых услови-

Таблица 10. Гематологические показатели сеголеток судака массой 1,5–3,0 г, выращенных комбинированным и прудовым способом

Вариант опыта	Лимфоциты, %		Нейтрофилы, %	Моноциты, %	Кол-во лейкоцитов из 500 эритроцитов, шт.	% незрелых эритроцитов из 200 шт.
	малые (зрелые)	большие (незрелые)				
Комбинированная технология						
№ 2 (22–23 °С) Биомар	90,0±0,7 ^{a, b, c, d, e}	6,7±0,5	0,8±0,1 ^{a, b, f}	2,5±0,4 ^{a, b, c}	8,4±0,8 ^{a, b, c, d, e}	5,4±0,1 ^a
№ 3 (19–20 °С) Биомар	90,8±0,7 ^{b, c, e}	5,9±0,4	0,8±0,3 ^{b, c, d, f}	2,5±0,5 ^{b, c, e}	6,8±0,2 ^{b, c, d, e}	6,7±0,1 ^{b, c, d, e}
№ 5 (корм #1)	90,7±0,7 ^{c, d, e}	5,6±0,6	0,4±0,1 ^{c, d}	3,3±0,4 ^{c, d, e, f}	7,5±0,3 ^{c, d, e}	7,1±0,5 ^{c, d, e}
№ 7 (корм #3)	88,1±1,4 ^{d, e, f}	5,8±0,6	0,4±0,2 ^d	5,7±1,3 ^{d, e, f}	7,1±0,7 ^{d, e}	7,0±0,4 ^{d, e}
№ 8 (корм #6)	89,1±1,7 ^{e, f}	5,6±0,7	0,2±0,1 ^e	5,1±1,1 ^{e, f}	7,1±0,3 ^e	7,6±0,5 ^e
Прудовая технология						
–	84,5±1,7 ^f	7,0±0,5	2,2±0,9 ^f	6,3±1,6 ^f	5,5±0,3 ^f	3,7±0,4 ^f

ях, которые выражались в относительно низком содержании у последней долей зрелых лимфоцитов, незрелых эритроцитов (из 200 шт.) и количества лейкоцитов (из 500 эритроцитов), а также высоким содержании долей нейтрофилов и моноцитов (табл. 10).

Несмотря на различия в гематологических показателях исследуемых рыб, особей с видимыми заболеваниями и отклонениями обнаружено не было.

ОБСУЖДЕНИЕ

При индустриальном выращивании личинок судака снижение плотности посадки с 75 до 50 экз./л и повышение температуры воды с 18–19 °С до 20–22 °С привело к улучшению роста и выживаемости молоди, что соответствует результатам исследований других авторов. По сообщению Szkudlarek, Zakęś (2007) повышение плотности посадки с 25 до 100 экз./л снижает конечную массу личинок судака по итогам 18 сут выращивания с 39 до 28 мг, а выживаемость с 79 до 72%. В работе Пьянова (2017) при выращивании судака с плотностью посадки 4 экз./л личинки на 30-е сут имели массу 50 мг против 28 мг при 10 экз./л, выживаемость также была выше при низкой плотности посадки молоди. В целом увеличение плотности посадки до 33–45 экз./л отрицательно сказывается на результатах выращивания, существенно снижая конечную массу молоди и повышая смертность, вызванную в т.ч. высоким уровнем каннибализма (Szkudlarek, Zakęś, 2007; Марценюк, 2014). В качестве оптимальной, Марценюк (2014) указывает плотность посадки 10–15 экз./л, при которой конечная масса молоди в возрасте 39 сут равняется 0,52–0,64 г, против 0,19–0,27 г при 33–45 экз./л.

В литературе есть сведения успешного выращивания личинок судака при

более высокой плотности посадки — 100 экз./л. Однако подобные работы носят экспериментальный характер и нацелены на испытание кормовых компонентов, кормов, режимов кормления или определения таких рыбоводных параметров, как плотность посадки, освещенность и температура воды. Результаты исследований имеют, как правило, близкие значения выживаемости (68–87%), длины (8,6–9,7 мм) и массы (до 6 мг) личинок, возраст которых составляет 17–18 сут после вылупления (Tielmann et al., 2017; Yanes-Roca et al., 2018; Imentai et al., 2020). Исключением явились данные Szkudlarek, Zakęś (2007), получивших за тот же период выращивания крупную молодь массой 41,8 мг и длиной 17,1 мм.

По нашему мнению, оценка выживаемости судака в возрасте, указанном авторами, не является объективной, т.к. у личинок данного вида состояние внутренних органов, в т.ч. пищеварительной системы, на 17-е сут после вылупления соответствует личиночному этапу развития, и в последующем будет претерпевать метаморфозы, связанные с переходом к мальковому этапу. Кроме того в возрасте 17–18 сут личинки судака окончательно расходуют собственный эндогенный питательный запас и переходят на экзогенное питание (Ostaszewska, 2005), что сопровождается перестройкой органов пищеварения, связанных с развитием желудка, дифференциацией его на отделы, образованием пилорических придатков и т.д. Полный переход личинок на внешнюю пищу в сочетании с изменениями, происходящими в организме, приводят к повышенной смертности. В наших ранних исследованиях (Лютиков и др., 2020) выживаемость судака, выращиваемого исключительно на искусственной диете при высоких плотностях посадки (100 экз./л), снижалась на 17 и 26 сут

после вылупления с 73 до 13%, соответственно.

Высокая выживаемость судака в первые две недели выращивания с применением искусственных сиговых кормов ЛС-81 наблюдалась и при более высоких плотностях посадки, достигающих 500 экз./л. Однако в дальнейшем смертность личинок резко возрастала, в том числе по причине отсутствия пищевого рефлекса у судака — доля не питающихся особей достигала 91% (Королев, 2000). Увеличение плотности посадки личинок судака до 880 экз./л уже в течение первых двух недель приводила к гибели до 75% особей, жизнестойкость выживших личинок оставалась невысокой.

Учитывая приведенные выше сведения и отрицательные результаты выращивания ранних личинок судака в нашем опыте, можно предположить, что задаваемые начальные плотности посадки в обсуждаемом в настоящей работе эксперименте, равные 50–75 экз./л, являются завышенными (для конкретных условий рыбоводного хозяйства) и могут негативно отражаться на росте и жизнестойкости личинок.

Другим, не менее важным фактором, определяющим результат выращивания личинок судака в индустриальных условиях, выступает температура воды. Ускорение роста ранней молоди судака в нашем опыте при прогреве воды с 18–19 до 20–22 °С полностью согласуется с результатами работ других авторов, отмечающих существенное ускорение роста на ранних этапах выращивания судака при температуре воды 20 °С, по сравнению с 18 °С (Марценюк, 2014). Повышение температуры воды до 22 °С, по сообщению Марценюк (2014), также ускоряет темп роста, но способствует усилению каннибализма, и тем самым, повышению смертности. Шкудлярек (2007) в своей работе рассчитал, что по-

догрев воды с 18 до 20 °С повышает скорость роста ранней молоди судака в УЗВ в 1,5 раза, а до 22 °С в три раза. Замедление роста судака в относительно холодных температурных условиях также связано со снижением его пищевой активности — потребление корма с понижением температуры воды с 19 до 16 °С снижается в 2 раза, а скорость роста в 5–6 раз (Кудринская, 1976).

Температурный фактор является наиболее значимым и для дикой молоди, особенно в первый год жизни, и определяет появление жизнестойких однолетних групп, которые в последующем при вступлении в промысел обеспечивают более высокие уловы (Karjalainen et al., 1996).

Несмотря на различия в плотности посадки и температурном режиме, при которых в нашем эксперименте выращивали личинок, выживаемость судака во всех опытных вариантах в среднем была крайне низкой и не превышала 5% в возрасте близком к 30 сут после вылупления. Низкая жизнестойкость культивируемых по индустриальной технологии личинок судака сохранялась в последующем — молодь плохо перенесла пересадку из аппаратов ВНИИПРХ в бассейны и характеризовалась слабой выживаемостью в процессе выращивания. Тем не менее, темп роста молоди от 75–150 мг до 1 г был высоким — показатель среднесуточного прироста находился в диапазоне 12,4–15,1%, благодаря чему указанной конечной массы судак достиг на 14–20 сут (48 сут после вылупления).

Быстрый рост, который демонстрировал судак, выращенный полностью в индустриальных условиях, определяется, в первую очередь, ранним переводом молоди на искусственные диеты, в то время как сеголетки, переведенные из прудов, требовали адаптации к но-

вым, заводским, условиям выращивания и переходу от прудового зоопланктона к искусственным кормам. Адаптация прудовой молоди массой 452 мг к новым условиям составила две недели и сопровождалась высокой смертностью, достигающей 58%, и потерей массы рыб (более 30%) из-за голодания.

Результаты выращивания адаптированной к индустриальным условиям молоди судака в целом зависели от тех же факторов, что и при выращивании личинок, — температуры воды и плотности посадки. Подогрев воды с 20 до 22 °С увеличивал среднесуточный прирост с 8,3 до 10,3%, что отразилось на конечной массе молоди, которая в относительно теплых условиях была на 34% больше. Повышение плотности посадки с 2,7 до 3,9 экз./л при температуре воды 22 °С снизило темп роста и конечную массу личинок на 21%, а выживаемость с 69 до 49%. Повышенное количество рыб в опыте с подогревом воды привело к ухудшению условий выращивания и снизило содержание кислорода в воде ниже 4 мг/л, в то время как нормой для судака является 6–8 мг/л (Dalsgaard et al., 2013). В тоже время повышение плотности посадки с 2,7 до 4,2 экз./л при естественном температурном режиме (19–20 °С) не существенно снизило скорость роста молоди, однако положительно отразилось на ее выживаемости (табл. 5).

Помимо отработки рыбоводных параметров выращивания судака, актуальным вопросом остается подбор искусственных кормов, соответствующих потребностям хищника. Решение данной проблемы осложняется отсутствием на рынке эффективных специализированных коммерческих кормов для судака. Испытание экспериментальных кормов рецептуры ГосНИОРХ с различными источниками протеина — ми-

кробного белка и комбинации яичного и соевого протеина, а также растительных липидов, показало, что указанные компоненты могут быть использованы при составлении рецептур кормов для судака и выступать адекватной заменой рыбной муке и рыбьему жиру при соответствующем балансировании питательных веществ корма.

Оценка кормов по результатам выращивания судака указывает на большее соответствие пищевым потребностям молоди протеина микробиологического синтеза (корм № 1), чем яичного и соевого белка (корм № 3). Эффективность добавления микробного компонента корма в диеты для ранних личинок судака была установлена нами ранее (Лютиков и др., 2020), однако потребности личинок в этом компоненте несколько выше, чем у молоди, и могут достигать в диете до 40%, что обосновано содержанием в микробиальной биомассе в большом количестве мелких пептидов, являющихся доступными для усвоения ранними личинками с неразвитой пищеварительной функцией (Остроумова, 2012; Остроумова и др., 2020). С развитием и становлением пищеварительной системы, а также появляющейся у молоди способности расщеплять и усваивать пептиды и белки с относительно высокой молекулярной массой, снижается зависимость судака от короткоцепочечных пептидов, чем вызвана необходимость сокращения нормы ввода микробной биомассы в корм для молоди судака массой от 100 мг. Определение этой нормы требует проведения дополнительных исследований.

Использование в кормах яичного и соевого протеина снижало темп роста и выживаемость сеголеток судака, что может указывать на несоответствие выбранных нами компонентов пищевым потребностям хищника данной возраст-

ной группы. Напротив, введение в рацион судака растительного масла (льняного) вместо рыбьего жира, позволило существенно повысить скорость роста и выживаемость молоди. На возможность включения растительных белков (до 1/3 от общей доли протеина корма) и масел (до 1/4 от общей доли липидов) в искусственный корм для подрощенной молоди судака указывают коллеги из Казахстана, успешно разработавшие корма для молоди судака, сопоставимые, по результатам выращивания, с коммерческими кормами западных фирм (Сидорова и др., 2020).

Выращивание судака в заводских условиях при высокой плотности посадки и использовании искусственных кормов может сопровождаться повышенной чувствительностью рыб к проявлению разного рода патологий в организме. В связи с этим обязательным условием является контроль физиологического состояния культивируемых рыб. Оценка физиологического статуса выращенной по комбинированной технологии молоди судака была проведена на основании биохимических и гематологических анализов, с последующим сравнением полученных показателей с аналогичными показателями у выращенной в прудах молоди. Было установлено, что биохимические параметры молоди судака находятся в зависимости от состава корма. Меньшим количеством жира характеризовалась молодь, получавшая диету с льняным маслом (вариант № 8). На снижение общего жира в теле личинок при введении в рацион льняного масла мы обращали внимание при работе с ранней молодью сиговых рыб (Лютиков и др., 2021). Вероятно, подобный эффект достигается за счет большого количества содержащейся в масле материнской α -линоленовой кислоты n-3 семейства (до 53% от общих липи-

дов), которая, как и другие высоконасыщенные жирные кислоты (ВНЖК), включаясь в состав фосфолипидов, выполняет в организме, в том числе, липотропную функцию (Tocher et al., 2008). Несомненно, рыбий жир также содержит в своем составе большое количество ВНЖК семейства n-3, однако в наших исследованиях в экспериментальные корма вводился рыбий жир, произведенный из отходов переработки аквакультурной рыбы, жирнокислотный состав которой мог быть сильно изменен под действием искусственных коммерческих кормов, которые, как известно, содержат растительные компоненты, жиры которых, как правило, представлены ВНЖК семейства n-6. Вероятно, это обстоятельство позволило получить лучшие рыбоводные показатели судака на корме с льняным маслом, чем с рыбьим жиром.

Введение в экспериментальную диету продуктов микробиосинтеза (корм № 1) вместо растительных и яичных протеинов привело к повышению белка в молоди, что указывает на большее участие протеина бактериального происхождения в белковом обмене судака. Это в сочетании с лучшим ростом рыб на корме № 1, может говорить о большем соответствии микробного протеина пищевым и физиологическим потребностям судака массой от 0,3 до 1,8 г, чем белков куриного яйца и сои. В тоже время присутствие в экспериментальном корме продуктов микробиосинтеза негативно отразилось на содержании витамина С в теле сеголеток судака, не превышающего 50 мкг/г. Такое снижение витамина может быть вызвано сильной окисленностью липидов микробной биомассы, перекисное ($\%I_2$) и кислотное число (мгКОН/г) которых в период изготовления экспериментальных диет превышало ПДК для компонентов ли-

чиночных кормов более чем в 4 раза. Предотвращая гидролиз жиров в корме, первым из витаминов разрушается витамин С (Остроумова и др., 1991), что, соответственно, влияет на уровень его содержания в теле культивируемых рыб. Тем не менее, учитывая хорошую выживаемость молоди на корме с микробной биомассой, количество витамина С в пределах 50 мкг/г можно считать нормальным для сеголеток судака.

В целом биохимические показатели молоди, выращенной на различных экспериментальных диетах рецептуры ГосНИОРХ, сопоставимы между собой и с таковыми у молоди судака, получавшей коммерческий корм фирмы Биомар (табл. 9).

Помимо диетического влияния на биохимические параметры культивируемой в промышленных условиях молоди оказывал воздействие температурный фактор — с подогревом воды до 22–23 °С происходило уменьшение показателей белка, жира и золы в теле сеголеток судака. Схожая зависимость снижения общего жира с повышением температуры воды наблюдалась у молоди осетровых (Гершанович и др., 1987). Подобный эффект авторы связывали с быстрым ростом молоди. Действительно, в периоды интенсивных синтетических процессов, которые могут быть ускорены повышением температуры воды, основные ресурсы, поступающие в организм, используются преимущественно на рост, а не на отложение резервов (Остроумова, 2012).

Значительными отличиями биохимических показателей характеризовались сеголетки судака, подрощенные в прудах, которые по сравнению с одновозрастной молодью, культивируемой в заводских условиях, имели в два раза ниже уровень жира и витамина С, и повышенную влажность тела. Подобные

особенности биохимического состава выращиваемой в прудах молоди в сочетании с низким коэффициентом упитанности, имеющим значение менее 1%, указывают на их голодание.

В отличие от биохимического статуса организма, гематологические показатели судака, выращенного в различных температурных условиях и на разных рационах (в т.ч. коммерческом корме Биомар), варьировались значительно меньше. Достоверные различия были отмечены только для отдельных показателей крови — снижении уровня незрелых эритроцитов при повышении температуры воды и снижении доли нейтрофилов при замене в рационе рыбьего жира на растительное масло (табл. 10).

Существенные отличия в гематологической картине крови были определены при сравнении сеголеток, выращенных в прудовых и заводских условиях, что, в первую очередь, объясняется сильным влиянием внешних экологических факторов на состав крови рыб (Пучков, 1954).

Стоит полагать, что относительно высокое содержание в крови судака из рыбоводного хозяйства лимфоцитов и лейкоцитов, выработка которых связана с защитным механизмом и иммунологическими ответами организма против инфекционных заболеваний и токсического воздействия (Кузина, 2009; Movahed et al., 2015), вызвано особенностями промышленного культивирования рыб. На повышение указанных выше элементов крови у судака, выращиваемого в искусственных условиях, могут влиять постоянный стресс, вызванный высокими плотностями посадки, током воды и др., а также использованием искусственных кормов, в составе которых присутствуют компоненты, не свойственные рациону судака в природе. Кроме того, искусственное повы-

шение температуры воды, используемое для увеличения скорости роста молоди, усиливает эффекты от негативных факторов индустриального выращивания, выражаясь в количественном увеличении элементов крови, связанных с иммунной функцией.

Повышение доли нейтрофилов на фоне снижения доли лимфоцитов может быть вызвано голоданием рыб в прудах. Схожий эффект был отмечен при гематологических исследованиях сиговых рыб в период зимовки в УЗВ, когда рыбу кормили 1–2 раза в неделю (Романова и др., 2020). Вероятно, этой же причиной может быть объяснено увеличение доли моноцитов в крови сеголеток судака, выращенных в прудах, повышение которых как относительной величины, вызвано снижением наиболее представительной группы кровяных клеток — лимфоцитов.

Снижение у сеголеток из прудов доли незрелых (молодых) эритроцитов, количество которых в крови отражает активность эритропоэза, также может быть вызвана низкой активностью питания и отличным от индустриальных условий газовым и температурным режимом.

В целом, биохимические и гематологические исследования сеголеток судака не выявили явных патологий и значительных отклонений от физиологической нормы, принятой на основе собственных и литературных данных, что говорит о нормальном состоянии и развитии культивируемых рыб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования по переводу молоди судака с естественной пищи на искусственные диеты показали возможность использования для этих целей личинок, выращенных в индустриальных условиях. Такой молоди нет необходимо-

сти адаптироваться к заводским условиям выращивания, они быстрее переходят на искусственные диеты и набирают массу, чем молодь, пересаженная из прудов в бассейны. Однако жизнестойкость личинок при выращивании в аппаратах ВНИИПРХ до 75–157 мг и в бассейнах до 1 г очень низкая, что указывает на необходимость разработки технологии культивирования ранних личинок индустриальным способом.

Среди подрощенной в прудах молоди лучшими адаптивными свойствами при переводе в индустриальные условия характеризуются личинки с массой около 100 мг, которые лучше переходят на искусственные диеты и, соответственно, имеют преимущество в росте, по сравнению с более крупной молодью массой 300–450 мг. Последним, для начала потребления искусственных кормов требуется двухнедельный период адаптации, в процессе которого более половины особей гибнет, а сама молодь теряет до трети собственной массы.

Исследование рыбоводных параметров выращивания судака с начальной массой 300–350 г выявило зависимость увеличения скорости роста и выживаемости молоди от повышения температуры воды и снижения плотности посадки рыб в бассейнах. Среди компонентов корма на улучшение роста и жизнестойкости рыб влияют высокобелковая микробиальная биомасса и льняное масло, которыми заменяли в диетах соевый и яичный протеин и рыбий жир, соответственно.

Данные биохимических и гематологических анализов указывают на нормальное физиологическое состояние выращенной молоди, и соответственно, на удовлетворяющие условия содержания и кормления потребностям сеголеток судака.

Полученные материалы могут быть использованы для разработки техноло-

гии получения жизнестойкой молоди судака комбинированным (прудовым и индустриальным) и индустриальным способом для рыбоводных хозяйств Северо-Запада и других регионов России, в том числе не имеющих возможностей для подогрева воды.

ВЫВОДЫ

1. Повышение температуры воды при выращивании личинок судака (с начала внешнего питания) с 16–20 до 18–23 °С повышает конечную массу молоди по итогам 25 сут выращивания на 30%, а подогрев воды с 19–20 до 22–23 °С ускоряет рост адаптированной к заводским условиям выращивания молоди с начальной массой 300–350 мг в среднем на 28% (от 23 до 33%).

2. Снижение плотности посадки личинок судака с 75 до 50 экз./л позволяет в индустриальных условиях выращивания повысить конечную массу молоди на 25-е сутки на 33%, выживаемость — на 48%.

3. Судак, выращенный в прудах до 101 мг, при переводе в индустриальные условия характеризуется лучшими адаптивными свойствами, в сравнении с молодь массой 452 мг: переход на искусственные диеты происходит на 3–4 сут против 12–16 сут, а массы 1 г молодь достигает на 25-е сут против 25–27 сут (в естественном температурном режиме) при выживаемости 93% против 66–71%, соответственно.

4. Адаптация к индустриальным условиям судака, выращенного в прудах до массы 452 мг, сопровождается двухнедельным голоданием, проявлением каннибализма и увеличением смертности, а также негативно отражается на росте рыб.

5. Продолжение выращивания сеголеток судака массой более 450 мг в прудах в течение 35 сут приводит к их от-

ставанию в росте по сравнению с одновозрастной молодь, переведенной в индустриальные условия. Масса сеголеток из прудов равнялась 1,2 г, а в заводских условиях — 1,5–2,2. Показатели упитанности, биохимические и гематологические параметры указывали на голодание судака в прудах.

6. Испытание экспериментальных кормов рецептуры ГосНИОРХ с различными источниками протеина — высокобелковой микробной биомассы и комбинации яичного и соевого протеина, а также растительных липидов, показало, что указанные компоненты могут быть использованы при составлении рецептур кормов для судака и выступать адекватной заменой рыбной муке и рыбьему жиру при соответствующем балансировании питательных веществ корма.

7. Биохимические и гематологические показатели сеголеток судака в меньшей степени подвержены влиянию температурного и диетического фактора, в большей — условиям выращивания (пруды и заводские условия).

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга) А.К. Шумиловой и М.М. Вылка за помощь в проведении биохимического и гематологического анализа и интерпретации полученных данных.

Работа выполнена в рамках Государственного задания — Тема № 29.3 «Разработка технологической документации для модельных хозяйств по получению молоди и товарному выращиванию рыб — перспективных объектов аквакультуры».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гершанович А.Д., Пегасов В.А., Шатуновский М.И. Экология и физиология молоди осетровых. Москва: Агропромиздат, 1987. 214 с.

Королев А.Е. Биологические основы получения жизнестойкой молоди судака: дисс. ... канд. биол. наук. СПб, 2000. 188 с.

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

Королев А.Е., Терешенков И.И. Как получить икру и личинок судака в ранние сроки // Рыбоводство и рыболовство. 1995. № 1. С. 11–12.

Кудринская О.И. Влияние трофического и температурного фактора на эколого-физиологические показатели у личинок различных видов рыб // Тезисы докладов III Всесоюзной конференции «Экологическая физиология рыб» (Киев, ноябрь 1976 г.). 1976. Ч. 1. С. 163–164.

Кузина Т.В. Анализ гематологических показателей судака Волго-Каспийского канала // Естественные науки. 2009. № 4. С. 96–100.

Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.

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.

Лютиков А.А., Королев А.Е. Определение оптимальной массы и плотности посадки молоди судака (*Sander lucioperca*) при переводе из прудов в индустриальные условия // Там же. 2020. Т. 21. № 2. С. 188–202.

Лютиков А.А., Королев А.Е., Остроумова И.Н. Культивирование ранней молоди судака (*Sander lucioperca*) и окуня (*Perca fluviatilis*) на искусственных диетах // Известия КГТУ. 2020. № 56. С. 34–47.

Лютиков А.А., Шумилина А.К., Вылка М.М. Опыт замены рыбной муки и рыбьего жира на растительные протеин и масло

в стартовых кормах для сиговых рыб // Там же. 2021. № 60. С. 32–43.

Марценюк В.П. Досвід розведення та вирощування судака (*Sander lucioperca*) за різних технологій // Рибогосподарська наука України. 2014. № 3. С. 55–66.

Остроумова И.Н. Биологические основы кормления рыб. Изд-е 2-е, испр. и доп. СПб.: ГосНИОРХ, 2012. 564 с.

Остроумова И.Н., Лукошкина М.В., Козьмина А.В. Изменение содержания витамина С, А и Е в рыбных кормах с БВК при хранении их в разных условиях // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 1991. Вып. 306. С. 14–26.

Остроумова И.Н., Костюничев В.В., Лютиков А.А., Шумилина А.К., Вылка М.М. Эффективность использования в стартовых и продукционных кормах сиговых рыб микробных продуктов разного состава, культивируемых на природном газе // Рыбоводство. 2020. № 3–4. С. 50–53.

Пьянов Д.С. Рыбоводно-биологические особенности выращивания товарного судака в установках замкнутого водоснабжения. Автореф. дис... канд. биол. наук. Калининград: КГТУ, 2017. 23 с.

Пучков Н.В. Физиология рыб. М.: Пищепромиздат, 1954. 372 с.

Романова Н.Н., Головина Н.А., Головин П.П., Ефремова Е.В., Вараксина В.В. Гематологические показатели муксуна (*Coregonus tikuksun*, Salmonidae) при формировании ремонтно-маточного стада в условиях рыболовного завода // Вопр. рыболовства. 2020. Т. 21. № 3. С. 331–342.

Сидорова В.И., Асылбекова С.Ж., Ян-варева Н.И., Койшыбаева С.К., Бадрызлова Н.С. Перспективы производства биологически полноценных стартовых комбикормов для судака в республике Казахстан // Новости науки Казахстана. 2020. № 1 (143). С. 94–114.

Хубенова Т., Зайков А., Кацаров Е., Терзинский Д. Влияние на гъстота на помудката върху нарастваването и оцеляемостта на бялата риба (*Sander lucioperca* L.) през периода на преход от естествена храна към гранули-

ран фураж // Селскопанска академия, Животновъдни науки, 2014. Т. 51. № 4. С. 36–40.

Шкудлярек М. Польский опыт по подращиванию личинок судака в системах с замкнутым кругооборотом воды // Аквакультура Варминско-Мазурского воеводства как компонент сотрудничества Польши, Литвы и Калининградской области. Олыштын, 2007. С. 35–43.

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 commercial feed // The Conference Mendel Net'07. 2007. P. 45.

Dalsgaard J., Lund I., Thorarinsdottir R., Drengstig A., Arvonen K., Pedersen P.B. Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives // Aquacultural Engineering. 2013. V. 53. P. 2–13.

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

Imentai A., Rašković B., Steinbach C., Rahimnejad S., Yanes-Roca C., Policar T. Effects of first feeding regime on growth performance, survival rate and development of digestive system in pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae // Aquaculture. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735636>

Karjalainen J., Lehtonen H., Turunen T. Variation in the relative year-class strength of pikeperch, *Sizostedion lucioperca* (L.) in two Finnish lakes at different latitudes // Ann. Zool. Fennici. 1996. V. 33. № 3–4. P. 437–442.

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 // Aquacul. Res. 2003. V. 34. P. 281–287.

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. 2004b. V. 12. P. 181–189.

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. V. 40. P. 1337–1341.

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.

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.

Szkudlarek M., Zakęś Z. Effect of stocking density on survival and growth performance of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), larvae under controlled conditions // Aquac. Int. 2007. V. 15. P. 67–81. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9069-7>

Tielmann M., Schulz C., Meyer S. The effect of light intensity on performance of larval pikeperch (*Sander lucioperca*) // Aquac. Eng. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.03.001>

Tocher D.R., Bendiksen E.A., Campbell E.A., Bell J.G. The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish // Aquaculture. 2008. V. 280. P. 21–34.

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 // Archives of Polish Fisheries. 1997. V. 5 (2). 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.

Yanes-Roca C., Mraz J., Born-Torrijos A., Holzer A.S., Imentai A., Policar T. Introduction of rotifers (*Brachionus plicatilis*) during pikeperch first feeding // Aquaculture. 2018. V. 497. P. 260–268.

AQUACULTURE AND ARTIFICIAL REPRODUCTION

DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF BODY WEIGHT, REARING, TEMPERATURE REGIME AND COMPOSITION OF FEED DURING ADAPTATION OF JUVENILE PIKE PERCH (*SANDER LUCIOPERCA*) FROM PONDS TO INDUSTRIAL CONDITIONS

© 2021 y. A.A. Lyutikov, A.E. Korolev

Saint-Petersburg branch of the «Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography», Saint-Petersburg, 199053

Here are the results of studies to determine the optimal parameters of the mass of juveniles, stocking density, temperature regime and the composition of artificial feed for the adaptation of pond zander to industrial conditions. It was found that pond juveniles with an average weight of 101 mg were characterized by the best adaptive properties, which quickly (within 3–4 days) switched to the consumption of artificial feed and reached 1 g in 25 days. The average daily growth rate was 9,4%, the survival rate was 93%. On the contrary, juveniles, which grew in ponds to an average weight of 452 mg, required a two-week adaptation to new growing conditions and feed, during this period they did not feed and showed signs of cannibalism, which led to a loss of body weight up to 30% and mortality up to 58%. When growing pike perch adapted to the pond, the best results were obtained under conditions of low stocking density (2,7 ind./l) at a water temperature of 22–23 °C. Juveniles under such conditions reached a weight of 2,72 g in three weeks of rearing with a survival rate of 69%. Testing various experimental diets showed that the inclusion of microbial biomass in the feed formulation (25% of the total feed composition) increases the growth rate of juveniles by an average of 17%, and the survival rate by 13%, compared with juveniles that received a control feed containing as a source protein a combination of components in the form of soy feed concentrate (12% of the total feed) and dry egg protein (11% of the total feed). Complete replacement of fish oil (control food) with flaxseed oil in the feed increased the growth rate by 16% and the survival rate of juveniles by 16% in relation to the control variant. The results of biochemical studies of pike perch cultivated under industrial conditions indicate a decrease in the level of fat and protein in juveniles with an increase in water temperature. Replacing fish oil with flaxseed oil in the experimental diet leads to a decrease in total lipids in the body of pike perch (by 9%), and the introduction of high-protein products of microbiological synthesis into the feed instead of vegetable and egg proteins increases the protein level in juveniles (up to 9%). The hematological parameters of pike perch grown in different temperature conditions and on different diets (including the commercial feed Biomar) showed a significant decrease in the level of immature erythro-

cytes with an increase in water temperature and a decrease in the proportion of neutrophils when replacing fish oil in the diet with vegetable oil in experimental juveniles pike perch. Comparison of the biochemical parameters of pike perch grown in different conditions (ponds and fish-breeding basins) showed a decrease in pond juveniles, relative to the hatchery, in total fat (2,5 against 6,3% on average), protein (15,8 against 16,9%) and vitamin C (25,1 versus 54,3 µg / kg), and high humidity (78,4 versus 73,2%) in the fish body. Hematological parameters of pond juveniles were characterized by a relatively low proportion of mature lymphocytes (84,5 versus 88,1–90,8%), the number of leukocytes (5,5 versus 6,8–8,4 out of 500 erythrocytes) and immature erythrocytes (3,7 versus 5,4–7,6 out of 200 pcs.), and increased proportions of neutrophils (2,2 versus 0,2–0,8%) and monocytes (6,3 versus 2,5–5,7%) in comparison with pike perch grown by the combined method: first in ponds and then in industrial conditions. In general, biochemical and hematological studies of pike perch underyearlings did not reveal any obvious pathologies and significant deviations from the physiological norm, which indicates the normal state and development of fish cultured in factory conditions.

Keywords: pikeperch, *Sander lucioperca*, aquaculture, juveniles, ponds, industrial technologies, pools, stocking density, artificial feed, biochemical and hematological analysis.