

Аквакультура

УДК 639.3.04

Влияние температуры воды и освещённости на рост и развитие самок и самцов породы форели «Ропшинская золотая»

Н.И. Шиндавина, В.Я. Никандров

Федеральный селекционно-генетический центр рыбоводства «Ропша» (ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод»), пос. Ропша, Ленинградская область

E-mail: fsgzr.lo@yandex.ru

Представлены результаты исследований, выполненных в 2016–2017 гг. в селекционно-генетическом Центре рыбоводства, расположенном в пос. Ропша Ленинградской области. Самок и самцов (возраст 2+) форели мутантной золотистой окраски содержали в разных условиях освещённости и температурного режима в течение 9 месяцев до начала их созревания. Рыб сравнивали по массе, размерам тела и репродуктивным признакам. Проведена индивидуальная оценка самок по выживаемости эмбрионов. Установлен факт значительного влияния температуры воды на темп роста рыб, сроки созревания самок, плодовитость и величину яйцеклеток. С освещённостью были связаны яркость золотистой окраски тела и каротиноидная пигментация икры. Самыми низкими показателями выживаемости эмбрионов характеризовались самки, содержащиеся в течение года в цехе при низкой температуре воды и недостаточном освещении. Предлагается при разработке биотехники разведения радужной форели золотистого окрашивания наряду с оптимизацией температурного режима учитывать интенсивность освещённости.

Ключевые слова: золотистая форель *Oncorhynchus mykiss*, температура, освещённость, окраска, рост, качество икры.

DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-188-199

ВВЕДЕНИЕ

Радужную форель *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1972) мутантной золотистой окраски успешно разводят во многих странах [Clark, 1970; Klupp, Kaufmann, 1979; Malishevski, 1987; Tave, 1988]. В нашей стране выведена порода золотистой форели «Адлерская янтарная» [Бабий и др., 2013]. В настоящее время завершаются работы по выведению породы «Ропшинская золотая» [Никандров и др., 2014, 2015].

Золотая форель характеризуется повышенным содержанием каротиноидов по сравнению с обычной форелью [Бабий и др., 2013; Czczuga, Czczuga-Semeniuk, 1998]. Благодаря уникальной совокупности биологических и хозяйственно-полезных свойств золотистой форели разведение таких рыб является перспективным и выгодным направлением рыбоводства.

При разведении цветковых мутантных морф форели следует учитывать возможное

воздействие плейотропии на их рост и развитие при изменении факторов внешней среды [Никандров и др., 2015]. К ним относятся, прежде всего, температура воды и световое излучение.

Рыбы — пойкилотермные животные и температура воды влияет на все процессы жизнедеятельности организма, в том числе на прирост биомассы и развитие репродуктивной системы. Изменения температуры воды влияют на скорость присоединения половых гормонов к рецепторам, стимулируя интенсивность развития отдельных стадий оогенеза [Шульман, 1972; Мина, Клевезаль, 1976].

Освещённость играет значительную роль в развитии рыб, регулируя половое созревание и особенности полового цикла. Длительное световое излучение необходимо для раннего роста яйцеклеток и вителлогенеза, в то время как короткий световой день служит сигналом синхронизации поздних стадий развития половых клеток [Микулин, 2000; Bromage et al., 1984; Davies, Bromage, 2002]. С регуляцией фотохимических процессов связана окраска кожных покровов. Золотистое окрашивание форели обусловлено наличием ксантофоров и эритрофоров, которые залегают под слоем меланофоров. У золотистых форелей содержание меланина снижено [Woonanuntanasarn et al., 2004; Blancetal., 2006], что инициирует интенсивность воздействия УФ-излучения на синтез каротина и, как следствие, на содержание витамина А [Микулин, 2000].

К настоящему времени накоплен значительный объём данных о влиянии температуры и освещённости на развитие радужной форели. В этой связи представляет научный и практический интерес изучение степени влияния температуры воды и освещённости на рыбоводные показатели мутантной формы форели золотистой окраски, что явилось целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ

Работу проводили в 2016–2017 гг. в селекционно-генетическом центре рыбоводства, расположенном в пос. Ропша Ленинградской области. Объект исследования — форель зо-

лотистой окраски — потомки одной пары производителей I поколения семейной селекции [Никандров и др., 2015].

Перед первым созреванием в двухгодичном возрасте рыб содержали в бетонированных бассейнах на прудовом участке в условиях естественного освещения. Сразу после окончания нерестового сезона, в начале апреля 2016 года, часть рыб маточного стада оставили для выращивания на прудовом участке, а остальные были размещены в рыбоводном цехе. Рыб содержали в разных условиях температурного режима и освещённости в течение 9 месяцев до декабря 2016 года.

Цех снабжался ключевой водой, которая мало нагревалась летом и незначительно охлаждалась зимой. Водоснабжение бассейнов на прудовом участке осуществлялось из обширного Фабричного пруда, в котором наблюдались значительные сезонные колебания температуры воды (табл. 1).

В весенне-летний период с мая по август сумма температур составляла 1107 градусо-дней (сумма температур за исследуемый период) в цехе и 1677 градусо-дней на прудовом участке, а за весь исследованный период сумма температур на этих участках составляла 1833 и 2281 градусо-дней, соответственно.

На прудовом участке рыб содержали в бетонированных бассейнах в условиях естественного освещения. Освещённость менялась в зависимости от сезона, а также наличия или отсутствия облачности в пределах от 12000 до 17000 лкс. В цехе рыбы находились в закрытом помещении, где имелись большие оконные проёмы с двойным остеклением и застеклённые потолочные фонари. Освещённость бассейнов соответствовала освещённости солнечными лучами в светлой комнате вблизи окна и не превышала 1000 лкс (СНиП 32–05–95). Таким образом, интенсивность освещённости водоёмов прудового участка превосходила таковую в цехе в 12–17 раз.

В течение всего периода выращивания на обоих участках соблюдали нормативные плотности посадки, проточность и кислородный режим [Титарев и др., 1991]. Производителей обеих групп кормили грану-

Таблица 1. Температура воды и количество градусо-дней на рыбоводных участках в 2016 году

Рыбоводные участки	Среднемесячная температура воды, °С							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Цех	6	7	9	10	10	7	6	5
Прудовый участок	6	10	14	17	14	7	4	3
	Градусо-дни							
Цех	180	217	270	310	310	210	186	150
Прудовый участок	180	310	420	527	420	210	124	90

лированными кормами фирмы «Биомар», сбалансированными по важнейшим компонентам. Режим и нормы кормления были разработаны в соответствии с условиями их содержания, что позволяло полностью обеспечить нормальное развитие и высокую интенсивность роста.

Проверку самок на созревание проводили с середины декабря 2016 г. до начала февраля 2017 г. один раз в неделю, а затем до конца марта один раз в две недели.

Рыб оценивали по окраске визуально, пользуясь Каталогом международной системы цветов RALCLASSIC [Быкова, Белова, 1986]. Поскольку оценка была субъективной, для её проведения привлекали четырёх операторов. Результат принимали большинством голосов.

У рыб измеряли массу тела (P), длину тела по Смитту (L_{Sm}) — от кончика рыла до развилки на хвостовом плавнике, размер головы (C) — от кончика рыла до конца жаберной крышки, наибольшую высоту (H) и наибольшую толщину тела (B) [Правдин, 1966]. По данным измерений вычисляли индексы головы (C/L , %), толщины (B/L , %) и прогонистости (L/H). У самцов определяли объём эякулята (мл), концентрацию сперматозоидов (млн./мл) и время их подвижности (c). У самок после ручного отцеживания всю порцию икры взвешивали, просчитывали количество икринок в 5 г и вычисляли плодовитость (шт.). В пробе из 55 икринок, предварительно зафиксированной в формалине, индивидуально взвешивали и определяли среднюю массу овулировавших икринок (мг) и вариабельность по этому признаку (CV , %).

Для сравнительной индивидуальной оценки самок, выращенных в разных условиях, были произвольно отобраны 20 рыб с прудового участка, и 12 особей из цеха. Икру визуально оценивали по степени интенсивности окраски (цветности), используя индикатор цветности SalmonFan™ [Быкова, Белова, 1986] с применением системы баллов. От каждой из самок брали порцию икры по 100 г и осеменяли свежеприготовленной смесью спермы от 3–6 самцов. Перед осеменением проверяли под микроскопом активность сперматозоидов. Использовали только тех самцов, у которых были подвижными 100% сперматозоидов. Икру от каждой самки инкубировали на отдельных рамках. Всего в эксперименте было исследовано 67200 штук икринок.

Во время инкубации икры каждые 2–3 дня отбирали погибшие икринки, которые утрачивали прозрачность и становились белыми. Суммарная потеря икры в период эмбриогенеза слагалась из количества побелевших икринок, а также численности неоплодотворённой икры, сохранившей живую структуру до наступления стадии пигментации глаз у развивающихся зародышей. В это время можно было визуально различить икру с живыми эмбрионами, заметными через оболочку, и неоплодотворённые икринки, которые удалялись из опыта. Выживаемость эмбрионов оценивали по численности живых зародышей к моменту вылупления относительно количества осеменённой икры (%).

Статистическую обработку полученных данных проводили по стандартным методикам [Лакин, 1980].

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Окраска тела. У рыб, которых выращивали на прудовом участке в условиях естественного освещения, в общем тоне окрашивания преобладали варианты жёлтой и светло-коричневой окраски с золотистым оттенком и с оранжево-красноватым отблеском. Жёлто-коричневый спектр окрашивания создавался благодаря наличию рыб, окраска которых была обозначена в каталоге RAL CLASSIC как рапсово-жёлтая, цинково-жёлтая и песочно-жёлтая. Общая численность таких особей составляла 75%. Золотистые и оранжево-красные оттенки были обусловлены присутствием небольшого количества рыб жёлто-золотых (10%) и сигнально-оранжевых тонов (15%). Самцы и самки форели, которых содержали при искусственном освещении в цехе, отличались похожими цветовыми морфами, но интенсивность окраски была заметно ниже. Яркие оранжевые и золотистые оттенки отсутствовали. Общий цветовой фон характеризовался жёлто-коричневыми оттенками (табл. 2).

Плавники у подавляющего большинства производителей (98%) обеих групп оставались целыми, не повреждёнными некрозом в течение всего периода выращивания.

Динамика созревания самок. В трёхгодичном возрасте созрели 88% самок, содержащихся в цехе и 95% рыб, которых выращивали на прудовом участке. Производители этих двух групп различались по динамике созревания (рис. 1).

Обе группы рыб начали созревать одновременно в середине декабря. У производителей с прудового участка наблюдали хорошо выраженный пик нереста в конце декабря, когда созрели 53% самок. Длительность нерестового сезона у этих рыб составила 1,5 месяца и завершилась в конце января. Самки, выращенные в цехе на ключевой воде, созревали в небольших количествах, их нерестовый сезон продолжался больше трёх месяцев. При этом половина особей (53%) созрели в период с 24 января по 27 марта, в то время, когда у самок с прудового участка сезон созревания уже завершился.

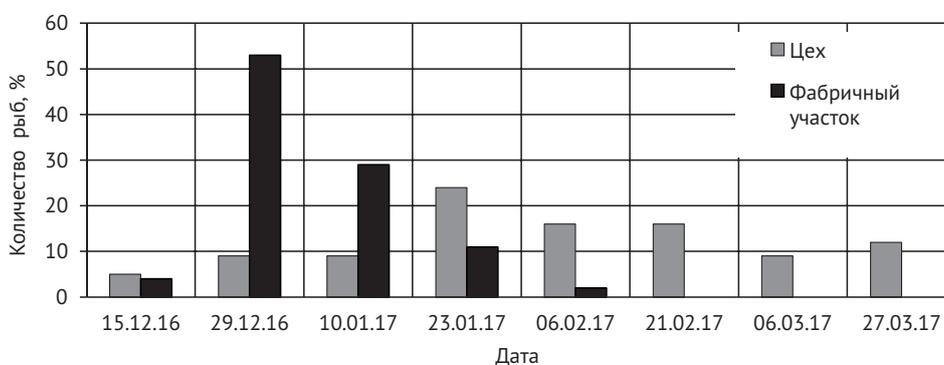


Рис. 1. Сроки созревания самок в 2016–2017 гг.

Таблица 2. Окраска тела рыб

Прудовый участок			Цех		
Название окраски	№№	Частота встречаемости, %	Название окраски	№№	Частота встречаемости, %
Рапсово-жёлтая	1021	40	Рапсово-жёлтая	1033	45
Цинково-жёлтая	1018	25	Транспортно-жёлтая	1023	30
Сигнальный оранжевая	2010	15	Георгиново-жёлтая	1021	15
Песочно-жёлтая	1002	10	Жёлтый раkitник	1032	10
Жёлто-золотая	1004	10			

Примечание. Название окраски и её номер приведены согласно каталогу RAL CLASSIC.

Размерно-весовая и репродуктивная характеристика самок и самцов. В табл. 3–6 представлены данные сравнительной оценки производителей, выращенных при разных температурных и световых режимах, по массе и размерам тела, индексам телосложения и репродуктивным признакам.

Самки, выращенные на прудовом участке, достоверно превосходили рыб из цеха по массе и размерам тела, а также по индексам толщины и прогонистости, и были сходны по относительному размеру головы. Изменчивость по абсолютным показателям была несколько выше у рыб, содержащихся в цехе (табл. 3).

Исходная масса тела самок перед разделением их для выращивания в разных условиях составляла $823 \pm 14,7$ г. Таким образом, за девять месяцев выращивания масса тела рыб в цехе увеличилась в 2,4 раза, а на прудовом участке в 3,4 раза.

Данные, представленные в табл. 4, свидетельствуют о том, что рабочая плодовитость и средняя масса икринок была выше у более крупных рыб с прудового участка, но при

этом у них достоверно снижалась относительная плодовитость.

Коэффициенты вариации по рабочей и относительной плодовитости были выше у рыб, выращенных в цехе. Кроме того, эти самки, продуцировали икру с высоким уровнем изменчивости. Коэффициент вариации массы икринок у отдельных самок менялся в пределах от 8,9 до 21,0%, т. е. минимальное значение этого признака превышало средний показатель у рыб с прудового участка. При этом в обеих группах снижение массы овулировавших яйцеклеток сопровождалось увеличением их изменчивости: корреляция между этими показателями у самок прудового участка составляла $r = -0,34$ ($P \leq 0,01$), а у самок из цеха $r = -0,53$ ($P \leq 0,01$).

Сравнительная оценка самцов, выращенных в разных условиях, показала следующее. Форель, которую содержали на прудовом участке, отличалась достоверно более высокими показателями массы тела, длины тела и тушки и индексам толщины и прогонистости, но характеризовалась меньшим относительным размером головы (табл. 5).

Таблица 3. Масса тела и морфометрические признаки самок

Признак	Цех ($n = 30$)			Прудовый участок ($n = 63$)		
	$M \pm m$	lim	CV, %	$M \pm m$	lim	CV, %
Масса тела, г	$1948 \pm 63,4$	1302–2700	17,8	$2773 \pm 39,7^{***}$	2115–3440	11,4
Длина тела, см	$48,0 \pm 0,44$	43,0–52,9	5,0	$55,3 \pm 0,25^{***}$	51,2–60,2	3,6
<i>Индексы тела, %</i>						
Головы	$18,0 \pm 0,15$	16,5–19,8	4,6	$17,9 \pm 0,08$	16,5–19,4	3,5
Толщины	$12,9 \pm 0,20$	11,2–15,2	8,4	$14,3 \pm 0,18^{***}$	11,4–16,3	9,9
Прогонистости	$3,6 \pm 0,03$	3,2–3,9	4,5	$3,7 \pm 0,02^{**}$	3,4–4,0	3,2

Примечание. Здесь и дальше: $M \pm m$, lim — среднее значение, его ошибка и пределы варьирования признака; CV — коэффициент вариации. Различия между средними значениями признака достоверны при: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Таблица 4. Репродуктивные признаки самок

Признак	Цех ($n = 30$)			Прудовый участок ($n = 63$)		
	$M \pm m$	lim	CV, %	$M \pm m$	lim	CV, %
Рабочая плодовитость, шт.	$5193 \pm 199,0$	3024–7022	21,0	$6397 \pm 123,6^{***}$	3681–8404	15,3
Относительная плодовитость, тыс.шт./кг	$2,7 \pm 0,10$	1,1–3,9	20,8	$2,3 \pm 0,04^{***}$	1,3–3,7	15,1
Средняя масса икринки, мг	$41,0 \pm 0,75$	30,3–47,2	10,0	$51,8 \pm 0,67^{***}$	37,6–62,5	10,4
Вариабельность икринок по массе у отдельных самок, %	$14,2 \pm 0,63$	8,9–21,0	24,2	$7,4 \pm 0,21^{***}$	3,7–10,2	2,3

Таблица 5. Масса тела и морфометрические признаки самцов

Признак	Цех (<i>n</i> = 20)			Прудовый участок (<i>n</i> = 28)		
	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>lim</i>	CV, %	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>lim</i>	CV, %
Масса тела, г	1786±79,5	1005–2500	19,8	2440±72,0***	1545–3390	15,6
Длина тела, см	48,3±0,57	41,9–53,4	5,3	55,4±0,50***	48,3–60,8	4,8
<i>Индексы тела, %</i>						
Головы	23,7±0,18	22,6–25,3	3,4	22,6±0,23***	20,2–24,7	5,4
Толщины	11,9±0,23	9,4–13,9	8,8	13,3±0,15***	12,1–15,3	6,0
Прогонистости	3,8±0,03	3,4–4,0	3,8	3,9±0,02**	3,6–4,1	3,4

Таблица 6. Репродуктивные признаки самцов

Признак	Цех (<i>n</i> = 20)			Прудовый участок (<i>n</i> = 28)		
	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>lim</i>	CV, %	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>lim</i>	CV, %
Объём эякулята, мл	11,7±1,03	3,5–19,0	39,6	14,3±1,10	4,5–35,0	40,6
Концентрация спермиев, млн/мл	12,9±0,83	6,2–24,3	28,8	10,0±0,41**	5,0–13,8	21,5
Рабочая плодовитость, млрд шт.	170,5±21,29	23,0–585,2	59,9	145,1±14,10	43,1–394,1	51,4
Относительная плодовитость, млрд/кг	7,2±0,54	3,6–16,6	35,9	4,2±0,17***	2,4–6,3	21,2
Подвижность спермиев, с	37±1,25	26–46	15,1	33±0,87**	22–42	13,8

Исходная масса тела самцов перед началом эксперимента составляла в среднем 858±23,8 г. Различия их по темпу роста были выражены в меньшей степени, чем у самок: при выращивании в цехе масса тела рыб возросла в 2,1 раз, а на прудовом участке в 2,8 раз.

Почти по всем репродуктивным признакам самцы из цеха достоверно превосходили самцов с прудового участка: у них были выше показатели концентрации спермиев, относительной плодовитости и продолжительности подвижного состояния сперматозоидов, но при этом незначительно уступали по объёму эякулята (табл. 6).

В табл. 7 представлены результаты индивидуальной оценки самок по характеристике икры. Достоверные различия между груп-

пами самок о средней массе икринок и их изменчивости, ранее установленные при массовой оценке производителей маточного стада, проявились и в случае небольших выборок при индивидуальной оценке. Корреляция между средней массой икринок и их изменчивостью сохранилась только у самок, выращенных в цехе, при этом у них она достигала более высокого значения, чем у самок из общей выборки маточного стада: $r = -0,80$ ($P \leq 0,01$). Самки достоверно различались также по интенсивности окраски икры, она была выше у рыб, содержащихся на прудовом участке.

Самые большие различия у самок были выявлены по выживаемости эмбрионов: у самок из цеха она составляла в среднем 4%, а у рыб с прудового участка — 79%. При

Таблица 7. Индивидуальная оценка самок по средней массе икринок и цветности икры

Признак	Цех (<i>n</i> = 12)			Прудовый участок (<i>n</i> = 10)		
	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>lim</i>	CV, %	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>lim</i>	CV, %
Средняя масса икринки, мг	40,7±1,09	33,6–46,7	9,3	52,7±1,03***	40,9–59,6	8,7
Вариабельность икринок по массе у отдельных самок, %	15,6±0,87	10,3–20,7	19,4	7,0±0,30***	4,9–9,5	18,9
Цветность икры, баллы	28,2±0,47	24–30	5,8	31,2±0,30**	28–34	4,2

этом выживаемость не была связана ни с массой и изменчивостью икринок, ни с интенсивностью окраски.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные нами данные указывают на то, что окраска кожных покровов форели Ропшинская золотая находилась в тесной зависимости от спектрального состава светового потока, интенсивность облучения которого в разных местах выращивания отличалась в десятки раз. Рыбы, которых выращивали в условиях естественного освещения (от 12000 до 17000 лкс), отличались более ярким окрашиванием, по сравнению с форелью, которую содержали в закрытых помещениях (около 1000 лкс). Следовательно, интенсивное световое воздействие повышает яркость золотистого окрашивания кожных покровов.

Кроме того, недостаточная освещённость и, как следствие, снижение УФ- воздействия могли оказать негативное воздействие на динамику обменных процессов, связанных с синтезом каротиноидов в развивающихся ооцитах [Boonanuntanasarn et al., 2004; Blanc et al., 2006; Микулин, 2000]. Подтверждением служит тот факт, что у самок, выращенных в цехе, икра имела бледно-жёлтую окраску, в отличие от ярко-оранжевой икры у самок с прудового участка. Поскольку известно, что лососёвые рыбы при созревании переносят каротиноиды из мяса в кожные покровы и гонады [Kitahara, 1983], можно предположить, что интенсивность окраски икры связана с интенсивностью окраски тела самок, значительно различающейся в обеих группах.

Особого внимания заслуживает устойчивость мутантных рыб к некротическим повреждениям, поскольку промышленное разведение форели обычной окраски, как правило, сопровождается массовым проявлением некротического изменения плавников [Ellis et al., 2009]. Это отличительное свойство золотой форели, по-видимому, объясняется более высокой концентрацией в тканях этих рыб каротиноидов, которые участвуя в переносе кальция через липидные мембраны, опосредованно влияют на возрастание концентрации кальция в кост-

ной ткани [Boonanuntanasarn et al., 2004; Blanc et al., 2006; Микулин, 2000], тем самым увеличивая её сопротивляемость некрозу. Отмеченное свойство проявилось у рыб обеих исследованных групп, что свидетельствует о независимости этой характеристики от воздействия внешних факторов.

Темп роста самок и самцов, содержащихся в естественных условиях при прудовом водоснабжении, был существенно выше, чем у производителей, выращенных в цеху, о чем свидетельствовали их размерно-весовые показатели (см. табл. 3 и 5). Кроме того, самки, выращенные на прудовом участке, достоверно превосходили рыб из цеха по абсолютным репродуктивным показателям: рабочей плодовитости и средней массе икринок. Это превосходство было обусловлено, главным образом, различиями в температуре воды в период выращивания, сумма которой была выше на прудовом участке на 448 градусо-дней. Подтверждением этому служат результаты исследований влияния температуры воды на рост и развитие лососёвых рыб, включая радужную форель [Pankhurst, King, 2010; Pankhurst et al., 1996]. Тем самым установлен факт решающего значения температурного фактора на рост рыб вне зависимости от возможных мутационных изменений окраски.

Условия содержания рыб маточных стад сказались на продолжительности нереста и времени массового созревания самок. Обе группы изученных нами рыб начали созревать одновременно в середине декабря. Протоплазматический рост ооцитов в цехе и на прудовом участке сопровождался весенним повышением температуры воды до 6 °С в конце марта — начале апреля. Сходный уровень температурного фона — до 6 °С был отмечен на завершающих этапах оогенеза во время осеннего снижения температуры воды в этих же водоёмах во второй половине сентября. Таким образом, почти одновременная готовность рыб к нересту и несущественные различия по количеству созревших самок в цехе и в прудах: 88 и 98%, соответственно, объясняется сходством температурных условий в начале и при завершении процесса гаметогенеза.

Значительные расхождения были отмечены в длительности и сроках созревания исследованных групп форели. У рыб с прудового участка длительность нерестового сезона была 1,5 месяца, т. е. почти в 2 раза короче, чем у форели из цеха, при хорошо выраженном массовом созревании в первой половине нерестового сезона: конце декабря — начале января, когда созрели 82% рыб. Нерест самок, выращенных на ключевой воде, продолжался более трёх месяцев. При этом наибольшее количество самок (75%) созрели в конце сезона созревания. Наблюдаемые нами расхождения в динамике созревания могли быть обусловлены, прежде всего, различиями температурного фона, изменения которого наблюдали при прохождении разных этапов гаметогенеза.

Процесс накопления трофических веществ у рыб у форели из цеха протекал при постепенном повышении температуры воды в июле-августе до 10 °С, а завершающие циклы созревания яйцеклеток проходили при постепенном снижении температуры воды до 6 °С в сентябре и до 5–4 °С в зимние месяцы. У рыб, которых содержали на прудовом участке, трофический рост происходил при более благоприятных температурах воды: от 6 до 17 °С в апреле-июле, с постепенным снижением до 7 °С в сентябре.

Во время трофоплазматического роста низкие температуры воды в цехе вызывали асинхронность развития яйцеклеток и явились причиной возникновения различий в сроках созревания. Ранее это было показано для ропшинской форели [Леманова, 1974]. При выращивании рыб в прудах этот период оогенеза протекал при более благоприятном температурном режиме (6,0–15,0 °С).

На динамику полового созревания рыб существенное влияние также оказывает световое излучение. Изменения освещённости может вызывать у радужной форели ускорение или задержку созревания [Bromage et al., 1984; Davies, Bromage, 2002; Bonnet et al., 2007]. Можно предположить, что ограниченная освещённость в цехе могла иметь негативное воздействие на динамику протекания физиологических процессов и развития репродуктивной системы форели.

В прудах в весенне-летний период сумма температур была на 570 градусо-дней больше, чем при ключевом водоснабжении, что, по-видимому, явилось решающим фактором, определяющим существенные различия рыбоводных показателей исследуемых групп. Самки и самцы, которых содержали в прудах прудового участка, достоверно превосходили рыб из цеха по массе и длине тела, а также индексам толщины и прогонистости, а самки отличались более высокими показателями рабочей плодовитости и средней массы икринок. Снижение относительной плодовитости у самок золотистой форели по мере увеличения массы их тела и рабочей плодовитости совпадало с результатами оценки рыб обычной окраски, полученными ранее [Шиндавина, 1995].

Рыбы, содержащиеся в цехе, продуцировали мелкие яйцеклетки, средняя масса которых не характерна для производителей форели этого возраста [Никандров и др., 2019]. Кроме того, этот показатель у подавляющего большинства самок из цеха отличался высокой вариабельностью, что может являться следствием асинхронности развития яйцеклеток.

Мы полагаем, что причиной невысокого качества икры самок, которых содержали в цехе, явилась низкая температура воды во время трофоплазматического роста ооцитов, что привело к изменению нормального соотношения необходимых трофических веществ в яйцеклетках. Наше предположение подтверждается результатами ранних исследований. У лососёвых ооциты созревают асинхронно [Сакун, Буцкая, 1968], и температурное воздействие на развитие ооцитов, находящихся на разных фазах роста, приводит к разновременности синтеза трофических включений в ооцитах [Леманова 1974; Сакун, Буцкая, 1968].

Особенности роста рыб и развития гонад при выращивании в разных условиях сказались на качестве икры, о чём свидетельствовали данные индивидуальной оценки самок по выживаемости эмбрионов (см. табл. 7). Существенные различия в показателях выживаемости могли быть результатом совокупного влияния температуры и освещения.

Ранее у радужной форели обычной окраски были выявлены изменения жизнеспособности потомства у самок, подвергавшихся воздействию разных температур и режимов фотопериода [Bonnet, 2007; Davies, Bromage, 2002].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов нашего исследования подтвердил широко известное положение о решающем воздействии температуры воды и освещенности на рост и развитие форели.

Более высокая сумма температур при выращивании рыб в естественных условиях на участке с прудовым водоснабжением оказала положительное влияние на ведущие рыбопродуктивные показатели, определяющие хозяйственно-полезные свойства нового объекта разведения: массу тела, плодовитость и качество половых продуктов. Нами показано, что во время трофоплазматического роста ооцитов более низкая температура ключевой воды (9–10 °С) по сравнению с прудовой водой (14–17 °С) оказывала негативное воздействие на качество икры. Это появилось в снижении средней массы икринок (на 23%), увеличении изменчивости по этому признаку (на 55%) и, как следствие, снижении выживаемости эмбрионов (на 75%).

Интенсивность светового излучения оказывала существенное влияние на фотоиндуцированные процессы, способствующие более высокому накоплению каротиноидов в икре. Форель, которую содержали в прудах при естественном освещении, характеризовалась более яркими оттенками золотистой окраски тела и более насыщенной каротиноидной пигментацией икринок у самок по сравнению с рыбами, которых выращивали в слабо освещённом цехе. Таким образом, при разработке биотехники разведения цветных морф форели золотистого окрашивания следует учитывать особенности температурных режимов, а также интенсивность освещённости при содержании рыб.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабий В.А., Никандров В.Я., Сртлян В.Е., Шиндавина Н.И., Янковская В.А. 2013. Форель радужная Адлерская Янтарная. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 2. М.: Изд-во Мин. сельск. хоз-ва. РФ. С. 24.
- Быкова В.М., Белова З.И. Справочник по холодильной обработке рыбы. М.: Агропромиздат. 208 с.
- Лакин Г.Ф. 1980. Биометрия. М.: Изд-во Высш. школа. 293 с.
- Леманова Н.А. 1974. Сравнительный анализ процесса вителлогенеза у разновозрастных самок радужной форели, впервые и повторно участвующих в нересте // Известия ГосНИОРХ. Т. 97. С. 150–153.
- Микулин А.Е. 2000. Функциональное значение пигментов и пигментации в онтогенезе рыб. М.: Изд-во ВНИРО. 232 с.
- Мина М.В., Клевезаль Г.А. 1976. Рост животных. М.: Наука. 291 с.
- Никандров В.Я., Шиндавина Н.И., Голод В.М., Терентьева Е.Г. 2014. Вариант жёлтой окраски у форели Ропфор // Рыбное хозяйство. № 2. С. 95–98.
- Никандров В.Я., Шиндавина Н.И., Голод В.М., Терентьева Е.Г. 2015. Характеристика радужной форели (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) жёлтой окраски, полученной в результате парных скрещиваний // Вестник рыбохозяйственной науки. Т. 2. № 3 (7). С. 57–65.
- Никандров В.Я., Шиндавина Н.И., Голод В.М., Терентьева Е.Г. 2019. Новое селекционное достижение — форель Ропшинская золотая // Рыбное хозяйство. № 4. С. 95–99.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Изд-во Пищевая пром-сть. 376 с.
- Сакун О.Ф., Буцкая Н.А. 1968. Определение стадий зрелости и изучение половых циклов рыб. Мурманск: ПИНРО. 46 с.
- Хочачка П., Сомеро Д. 1988. Биохимическая адаптация. М.: Мир. 568с. (Hochachka P., Somero G. 1984. Biochemical adaptation. Princeton University Press).
- СНиП23–05–95. 1995 г. Естественное и искусственное освещение. Госстрой СССР. Доступно через: <http://docs.cntd.ru/871001026>. 16.12.2016.
- Титарев Е.Ф., Сергеева Л.С., Линник А.В. 1991. Типовая технология разведения и выращивания разных форм радужной форели. М.: Пищевая промышленность. 85 с.
- Шиндавина Н.И. 1995. Методы формирования маточных стад в племенных форелевых хозяйствах // Проблемы товарного выращивания лососевых рыб России. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С. 31–36.
- Шульман Г.Е. 1972. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М.: Пищевая промышленность. С. 368.

- Blanc J.M., Poisson H., Gillet E. 2006. A blue variant in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* Walbaum // J. of Heredity. V. 97 (1). P. 89–93.
- Bonnet E., Montfort J., Esquerre D., Hugot K., Fostier A., Bobe J. 2007. Effect of photoperiod manipulation on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) egg quality: A genomic study // Aquaculture. V. 268. P. 13–22.
- Boonanuntanasarn S., Yoshizaki G., Iwai K., Takeushi T. 2004. Molecular cloning, gene expression in albino mutants and gene knockdown studies of tyrosinase mRNA in rainbow trout // Pigm. Cell Res. V. 17. P. 413–421.
- Bromage N., Elliot J.A., Springate J.R.C., Whitehead C. 1984. The effects of constant photoperiods on the timing of spawning in the rainbow trout // Aquaculture. V. 100. P. 73–83.
- Clark F.H. 1970. Pleiotropic effects on the gene for golden color in rainbow trout // J. of Heredity. V. 61. P. 8–10.
- Czeczuga B., Czeczuga-Semeniuk E. 1998. Carotenoids in the common- and golden form of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* Walbaum // Acta Ichthyol.Pisc. V. 28. P. 39–48.
- Davies B., Bromage N. 2002. The effects of fluctuating seasonal and constant water temperatures on the photoperiodic advancement of reproduction in female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* // Aquaculture. V. 205. P. 183–200.
- Ellis T., Hoyle I., Oidtmann B., Turnbull J.F., Jacklin T.E., Knowles T.G. 2009. Further development of the “Fin Index” method for quantifying fin erosion in rainbow trout // Aquaculture. V. 289. P. 283–288.
- Kitahara N. 1983. Behavior of carotenoids in the chum salmon migration // Comp. Biochem. Physiol. V. 76B. P. 97–101.
- Klupp R., Kaufmann F. 1979. Farbvererbung bei Regenbogenforellen // Fischer Teichwirt. V. 30. P. 19–20.
- Maliszewski R. 1987. Yellow-orange rainbow trout // Gospod. Ryb. V. 4. P. 12–13.
- Pankhurst N.W., King H.R. 2010. Temperature and salmon reproduction: implications for aquaculture // J. of Fish Biology. V. 76. P. 69–85.
- Pankhurst N.W., Purser G.J., Van Der Kraak G., Thomas P.M., Forreath G.N.R. 1996. Effect of holding temperature on ovulation, egg fertility, plasma levels of reproductive hormones and in vitro ovarian steroidogenesis in the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* // Aquaculture. V. 146. P. 277–290.
- Tave D. 1988. Body color in rainbow trout // Aquacuil. Mag. V. 14. P. 65–66.

Поступила в редакцию 16.05.2019 г.
Принята после рецензии 20.11.2019 г.

Aquaculture

Influence of water temperature and illumination on the growth and gonadogenesis of females and males of the trout breed «Ropshinskaya Gold»

N.I. Shindavina, V. Ya. Nikandrov

Federal Selection and Genetic Center for Fish Culture «Ropsha» (FSGCFC branch of FGBU «Glavrybvod»), p. n. Ropsha, Leningrad reg., Russia

The study was carried out in Federal Selection and Genetic Center of Fish Breeding in 2016–2017 (Ropsha, Leningrad region). Females and males of rainbow trout of mutant golden color at the age of 2+ were kept in different light and temperature conditions for 9 months before their maturation. Females and males were compared in weight and body size, and reproductive features. An individual assessment of females for embryo survival was carried out. The significant effect of water temperature on the growth rate of fish, the maturation of females, fecundity and the size of eggs was revealed. It was found that intensity of the body golden color and the carotenoid pigmentation of the eggs depends on the light. Moreover, females that were kept at low water temperature and low illumination intensity for a year were characterized by the lowest survival rates of embryos. Thus the intensity of illumination and optimization of the temperature regime in the development of biotechnology for breeding of rainbow trout of golden color should be taken into account.

Keywords: golden trout *Oncorhynchus mykiss*, temperature, lighting, coloration, growth, egg quality.

DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-188-199

REFERENCES

- Babij V. A., Nikandrov V. Ya., Srtlyan V. E., Shindavina N. I., Yankovskaya V. A.* 2013. Forel' raduzhnaya Adlerskaya Yantarnaya [The rainbow trout Adlerskaya yantarnaya]. Gosudarstvennyy reestr selektsionnykh hdostizhenij, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. T. 2. M.: Izd-vo Min. sel'sk. khoz-va. RF. S. 24.
- Bykova V. M., Belova Z. I.* 1986. Spravochnyik po kholodylnoy obrabotke ryby [The reference book for refrigeration treatment]. M.: Agropromizdat. 208 s.
- Lakin G. F.* 1980. Biometriya [Biometrics]. M.: Izd-vo Vychshaya shkola. 293 s.
- Lemanova N. A.* 1974. Sravnitel'nyy analiz protsessa vitellogeneya u raznovozrastnykh samok raduzhnoj foreli, v pervye i povtorno uchastvuyushchikh v nereste [Comparative analysis of vitellogenesis process in rainbow trout females of various ages spawning for the first time and repeatedly] // Izvestiya GosNIORKH. T. 97. S. 150–153.
- Mikulin A. E.* 2000. Funktsional'noe znachenie pigmentov i pigmentatsii v ontogeneze ryb [Functional significance of pigments and pigmentation in fish ontogenesis]. M.: Izd-vo VNIRO. 232 s.
- Mina M. V., Klevezal' G. A.* 1976. Rost zhivotnykh [Animal growth]. M.: Nauka. 291 s.
- Nikandrov V. Ya., Shindavina N. I., Golod V. M., Terent'eva E. G.* 2014. Variant zhyoltoj okraski u foreli Rofor [Yellow color variant of Rofor] // Rybnoe khozyajstvo. № 2. S. 95–98.
- Nikandrov V. Ya., Shindavina N. I., Golod V. M., Terent'eva E. G.* 2015. Kharakteristika raduzhnoj foreli (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) zhyoltoj okraski, poluchennoj v rezul'tate parnykh skreshchivanij [Characteristics of yellow body color rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) by pair crossing] // Vestnik rybokhozyajstvennoj nauki. T. 2. № 3 (7). S. 57–65.

- Nikandrov V. Ya., Shindavina N.I., Golod V.M., Terent'eva E.G.* 2019. Novoe selektsionnoe dostizhenie — forel' Ropshinskaya zolotaya [New selection achievement — the rainbow trout strain "Ropsha gold"] // *Rybnoe khozyajstvo*. № 4. P. 95–99.
- Pravdin I.F.* 1966. Rukovodstvo po izucheniyuryb [Fish study guide]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 376 s.
- Sakun O.F., Butskaya N.A.* 1968. Opredelenie stadij zrelosti i izuchenie polovykh tsiklov ryb [Determination of maturity stages and study of sex cycles in fish]. Murmansk: PINRO. 46 s.
- Khochachka P., Somero D.* 1988. Biokhimicheskaya adaptatsiya. M.: Mir. 568 s. (Hochachka P., Somero G. 1984. Biochemical adaptation. Princeton University Press).
- Shindavina N.I.* 1995. Metody formirovaniya matochnykh stad v plemennykh forelevykh hozyajstvakh [Methods to form spawning stocks in pedigree rainbow trout farms]// *Problemy tovarnogo vyrashchivaniya lososevykh ryb Rossii*. Murmansk: Izd-vo PINRO. S. 31–36.
- Shul'man G.E.* 1972. Fiziologo-biokhimicheskie obnostigodovykh tsiklov ryb [Physiological-biochemical peculiarities of annual cycles in fish]. M.: Pishchevayapromyshlennost'. S. 368.
- SNiP 23–05–95*. 1995. Estestvennoe i iskusstvennoe osveshchenie [Natural and artificial lighting]. Gosstroy SSSR Accessible via: <http://docs.cntd.ru/871001026>. 16.12.2016.
- Titarev E.F., Sergeeva L.S., Linnik A.V.* 1991. Tipovaya tekhnologiya razvedeniya i vyrashchivaniya raznykh form raduzhnoj foreli [Model breeding and growing technology of different rainbow trout forms]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 85 s.
- Blanc J.M., Poisson H., Gillet E.* 2006. A blue variant in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* Walbaum // *J. of Heredity*. V. 97 (1). P. 89–93.
- Bonnet E., Montfort J., Esquerre D., Hugot K., Fostier A., Bobe J.* 2007. Effect of photoperiod manipulation on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) egg quality: A genomic study // *Aquaculture*. V. 268. P. 13–22.
- Boonanuntasarn S., Yoshizaki G., Iwai K., Takeushi T.* 2004. Molecular cloning, gene expression in albino mutants and gene knockdown studies of tyrosinase mRNA in rainbow trout // *Pigm. Cell Res.* V. 17. P. 413–421.
- Bromage N., Elliot J.A., Springate J.R.C., Whitehead C.* 1984. The effects of constant photoperiods on the timing of spawning in the rainbow trout // *Aquaculture*. V. 100. P. 73–83.
- Clark F.H.* 1970. Pleiotropic effects on the gene for golden color in rainbow trout // *J. of Heredity*. V. 61. P. 8–10.
- Czczuga B., Czczuga-Semeniuk E.* 1998. Carotenoids in the common- and golden form of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* Walbaum // *Acta Ichthyol.Pisc.* V.28. P. 39–48.
- Davies B., Bromage N.* 2002. The effects of fluctuating seasonal and constant water temperatures on the photoperiodic advancement of reproduction in female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* // *Aquaculture*. V. 205. P. 183–200.
- Ellis T., Hoyle I., Oidtmann B., Turnbull J.F., Jacklin T.E., Knowles T.G.* 2009. Further development of the "Fin Index" method for quantifying fin erosion in rainbow trout // *Aquaculture*. V. 289. P. 283–288.
- Kitahara N.* 1983. Behavior of carotenoids in the chum salmon migration // *Comp. Biochem. Physiol.* V. 76B. P. 97–101.
- Klupp R., Kaufmann F.* 1979. Farbvererbung bei Regenbogenforellen // *Fischer Teichwirt*. V. 30. P. 19–20.
- Maliszewski R.* 1987. Yellow-orange rainbow trout // *Gospod. Ryb.* V. 4. P. 12–13.
- Pankhurst N.W., King H.R.* 2010. Temperature and salmon reproduction: implications for aquaculture // *J. of Fish Biology*. V. 76. P. 69–85.
- Pankhurst N.W., Purser G.J., Van Der Kraak G., Thomas P.M., Forreath G.N.R.* 1996. Effect of holding temperature on ovulation, egg fertility, plasma levels of reproductive hormones and in vitro ovarian steroidogenesis in the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* // *Aquaculture*. V. 146. P. 277–290.
- Tave D.* 1988. Body color in rainbow trout // *Aquacuil. Mag.* V. 14. P. 65–66.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Water temperature and numbers of degree-days in fishery facilities in 2016

Table 2. Body color of fish

Table 3. Body mass and morphometrical traits of females

Table 4. Reproductive traits of females

Table 5. Body mass and morphometrical traits of male

Table 6. Reproductive traits of males

Table 7. Individual assessment of females by mean egg weight and egg coloration

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Period of females maturation in 2016–2017