

УДК 639.211.3.05:591.05

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕЛА МОЛОДИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ, ВЫРАЩЕННОЙ ПРИ ПОВЫШЕННОМ СОДЕРЖАНИИ КИСЛОРОДА В ВОДЕ

В. В. ЛАВРОВСКИЙ, В. П. ПАНОВ, Ю. И. ЕСАВКИН
(Кафедра прудового рыбоводства)

Как известно, любые сдвиги в содержании кислорода в воде приводят к изменению биологических процессов в организме рыб.

Гидробионты в отличие от наземных животных довольно часто сталкиваются с резкими изменениями газового режима, особенно в эвтрофных водоемах. В литературе указывается [5], что в толще воды в прибрежных растительных зарослях содержание кислорода может достигать 300 % насыщения. Очевидно, этим объясняется тот факт, что холоднокровные животные легче переносят высокие концентрации кислорода.

Установлено наличие кислородной зоны адаптации для рыб [11]. Ниже уровня этой зоны дыхание угнетено. В последнее время большое внимание было уделено определению верхних границ насыщения воды кислородом, однако исследования в этом плане велись только с эмбрионами рыб. В ряде работ [2, 10] отмечалось изменение скорости развития и роста зародышей при изменении концентрации кислорода от нижней летальной границы до значений, намного превышающих естественное насыщение.

Имеются сведения [10], что у зародышей радужной форели при избытке кислорода

в воде (20—25 и 30—35 мг/л) резко уменьшается отход, ускоряются рост и развитие эмбрионов по сравнению с контролем. В то же время сообщается [4], что эмбриогенез рыб по мере увеличения количества кислорода в воде ускоряется лишь в определенном диапазоне концентраций, значительный избыток кислорода замедляет развитие зародышей.

При избыточном содержании кислорода в воде (выше 300 % насыщения) у зародышей щуки органы дыхания недоразвиты и подавлено эритроцитарное кровообращение [2]. У плотвы в этих условиях нарушаются двигательная активность и процесс вылупления [12]. У личинок амфибий в таких водоемах жабры редуцируются до культеобразных выростов, резко уменьшается количество крови [17], ослабевает синтез гемоглобина [18]. Других морфофункциональных нарушений не отмечено. Подобная картина выявлена и у зародышей верховки, инкубированных при избытке кислорода. У них, за исключением потери гемоглобина, каких-либо дефектов в строении тела или отклонений в поведении не наблюдалось. Причем эти зародыши, помещенные после вылупления в воду с естественным насыщением кислорода, продолжали нормально развиваться [3]. Имеется предположение [4], что подавление эритропоэза не сказывается отрицательно на развитии верховки. Отмечается также, что в природе встречаются взрослые особи рыб, у которых в крови отсутствуют эритроциты [20].

В оптимальных границах концентраций кислорода количество вылупившихся зародышей является максимальным, оно снижается при более низких и более высоких концентрациях. У рыб, развивающихся при низких концентрациях кислорода (щука), чувствительность к избытку кислорода выше, чем у видов рыб (верховка), развивающихся при относительно высоких концентрациях этого газа [2, 5].

Действие высоких концентраций кислорода в воде на рост и развитие молоди и взрослых рыб еще мало изучено.

Ряд авторов считают, что содержание в воде кислорода, превышающее 100 %, вредно для молоди рыб и может быть причиной ее гибели [1, 13]. У молоди осетра, выращиваемой при 240—300 % насыщении воды кислородом, как и у зародышей рыб, замедляются образование гемоглобина, рост тела и жаберных лепестков, ненормально развивается селезенка, в ротовой полости скапливаются пузырьки газа, мальки держатся у поверхности [13].

В то же время имеются данные [7], что у молоди окуня, карпа, карася и ельца адаптация к относительно невысокому перенасыщению воды кислородом (130 %) сопровождается повышением уровня обмена (на 11—55 %). При этом продолжительность периода адаптации к измененным условиям составляет 10—20 сут. Новый постоянный уровень обмена у сеголеток линия устанавливается через 12 сут, а у двухлеток — через 21—25 сут.

Повышенное содержание в воде кислорода сказывается и на интенсивности пластического обмена у рыб. Так, у пестра прирост азота, сухого и сырого вещества возрастает при увеличении содержания кис-

лорода в воде до 350 % насыщения, а у осетров — только до 180 % насыщения [14].

Таким образом, большинство экспериментальных данных свидетельствует о стимуляции роста и развития эмбрионов рыб, увеличении уровня обмена и накоплении питательных веществ в теле их молоди при умеренно избыточной концентрации кислорода. В этих условиях метаболические процессы не только не нарушаются, но, по-видимому, даже усиливаются, а в основе возникающих морфофункциональных дефектов лежит действие кислорода на иные стороны метаболизма [4].

Дальнейшие исследования влияния повышенных концентраций кислорода на организм рыб весьма необходимы в связи с возрастающими масштабами применения технического кислорода в рыбоводных хозяйствах, особенно в форелеводческих.

Кислород в последние годы широко применяется в хозяйствах индустриального типа за рубежом. В установке «Штелерматик» с оборотным водоснабжением, серийно выпускаемой в ФРГ, содержание кислорода в рыбоводных бассейнах поддерживается на уровне 179 % насыщения. Повышение концентрации этого газа в воде до 200 % насыщения приводит к увеличению скорости роста форели и снижению затрат корма [8].

Однако в настоящее время четкие сведения о длительном влиянии избытка кислорода в воде на биологические показатели рыб в литературе отсутствуют.

В задаче настоящего исследования входило изучение некоторых физиолого-биохимических особенностей молоди радужной форели, выращиваемой длительное время в воде при повышенном содержании кислорода.

Материал и методы исследования

Научно-хозяйственный опыт проводили в форелевом хозяйстве «Сходня» Московской области с 22 июня по 27 августа 1982 г. Объектом исследований служила молодь радужной форели, выращиваемая в проточном бассейне, разделенном глупими перегородками на 10 секций, по 0,11 м³ каждая. Средняя масса рыб в начале выращивания составляла 184 мг, количество молоди в варианте — 2000×2. Схема опыта представлена в табл. 1.

Таблица 1

Схема опыта

Вариант	Содержание кислорода, %	№ секций	Удельный расход воды, л/с·кг
I (контроль)	80—100	1—2	0,22—0,04
II	150—160	3—4	0,22—0,04
III	150—160	5—6	0,12—0,02
IV	180—200	9—10	0,22—0,04

В контрольные секции вода подавалась из системы оборотного водоснабжения (СОВ). Секции II, III и IV вариантов наряду с водоподачей из СОВ снабжались

Динамика химического состава тела молоди радужной форели
(% от сухого вещества)

Вариант	Вода	Жир	Белок
22 июня			
Посадка	84,98±0,10	14,30±0,47	67,58±0,63
6 июля			
Пуск кисло- рода	85,45±0,14	17,54±1,03	64,36±1,87
22 июля			
I	79,11±0,08	23,84±1,36	64,14±1,33
II	79,97±0,25	23,54±1,40	59,42±0,25
III	80,04±0,68	22,32±1,42	62,00±0,10
IV	79,32±0,11	24,48±0,94	59,41±1,65
5 августа			
I	78,74±0,15	26,54±0,37	55,37±0,73
II	77,95±0,35	28,56±0,65	53,52±1,44
III	78,76±0,49	27,84±0,39	56,47±1,37
IV	77,91±0,34	28,02±0,92	55,12±1,29
25 августа			
I	76,72±1,00	28,71±1,2	52,72±1,22
II	78,00±0,25	26,62±0,64	53,18±1,95
III	76,87±0,31	27,84±1,22	54,84±1,00
IV	76,01±0,78	27,81±0,65	53,58±1,56

водой, перенасыщенной кислородом в оксигенаторе [9]. В варианте III удельный расход воды был снижен по сравнению с контролем в 2 раза. В период опыта подача обогащенной кислородом воды в секции осуществлялась круглосуточно. Содержание кислорода в воде определяли по методу Винклера и при помощи оксиметра. Молодь получала пастообразные корма 6—8 раз в сутки.

Для контроля за ростом молоди 1 раз в 15 дней проводили облов части или всей рыбы в секциях. В то же время отбирали пробы форели для определения химического состава их тела (всего было выполнено 170 анализов). Содержание воды, жира и белка в теле рыб определяли по общепринятым методикам. Кроме того, рассчитывали количество отдельных питательных веществ в единице прироста живой массы рыб по формуле, предложенной М. А. Щербиной [16]:

$$П = (P_1 P_1 - P_0 P_0) / (P_1 - P_0),$$

где П — содержание вещества в приросте, %; P_0 и P_1 — масса рыбы в начале и конце опыта, г; P_0 и P_1 — содержание вещества в теле рыбы, %.

Экспериментальные данные обработаны статистически.

Результаты исследований

В подготовительный период (с 22 июня по 6 июля), когда молодь в секциях находилась в воде без дополнительной оксигенации, содержание в теле рыб воды и белка уменьшилось, а жировые запасы возросли (табл. 2).

Анализ влияния повышенных концен-

траций кислорода на рыб (варианты I, II и IV) показал, что количество воды в теле форели за период выращивания в контроле и в указанных вариантах уменьшилось на 7,9—9,8 %. В начале (к 22 июля) и в конце (к 25 августа) опыта оводненность тела молоди во II варианте была выше, чем в контроле и варианте IV, а в середине выращивания (с 22 июля по 5 августа) — ниже, чем в варианте I.

Количество жира, как правило, в процессе выращивания молоди рыб увеличивалось (табл. 2). Однако имеются некоторые особенности, обусловленные различной концентрацией кислорода в воде. Так, в начальный период наибольшее содержание липидов отмечено у рыб IV варианта, наименьшее — в контроле и во II варианте. В конце эксперимента по сравнению с предыдущим периодом жировые запасы у рыб I варианта возросли на 8,2 %, во II варианте — уменьшились на 7,3 %, а в IV — практически остались на прежнем уровне. Следовательно, в первые два периода выращивания форели умеренные (150—160 %) и высокие (180—200 %) концентрации кислорода не сказались отрицательно на жиронакоплении.

В конце выращивания измененный кислородный режим приводит к снижению уровня энергетических веществ в теле рыб, что, вероятно, связано с изменением направленности обмена веществ в их организме. Подтверждением этому могут служить данные о количестве белка в сухом веществе тела рыб. Его содержание независимо от вариантов в период опыта уменьшалось с 64,36 до 52,19—54,84 % (табл. 2).

Концентрация кислорода оказывает су-

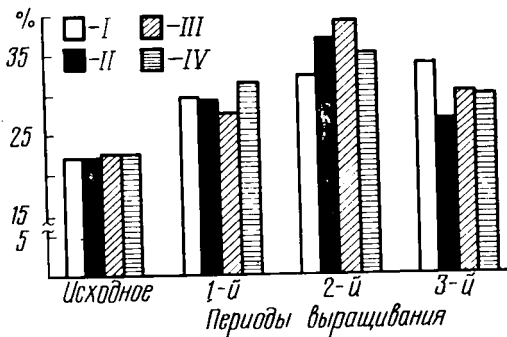


Рис. 1. Динамика содержания жира в единице прироста рыб (% от сухого вещества).
I—IV — варианты.

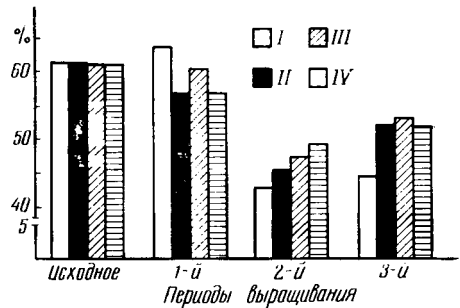


Рис. 2. Динамика содержания белка в единице прироста рыб (% от сухого вещества).
I—IV — варианты.

щественное влияние на содержание азотистых веществ в теле рыб. Так, в начале эксперимента максимум белка отмечен у рыб в контроле, в остальных вариантах этот показатель мало различался и был на 8 % ниже, чем в контроле. Во второй период эта разница несколько уменьшилась. В конце выращивания наблюдалась тенденция к усилению пластического обмена как во II, так и в IV вариантах. При этом содержание белка у молоди II—IV вариантов было выше, чем в контроле.

Таким образом, повышенные концентрации кислорода оказывают влияние на содержание в организме рыб энергетических и пластических веществ. В процессе роста у молоди форели из опытных секций по сравнению с контролем постепенно накапливается белок, а содержание жира несколько уменьшается.

Снижение расхода воды в целях рационального ее использования при естественном насыщении кислородом может привести к заморным явлениям и массовой гибели рыб. При увеличении содержания кислорода до 150 % насыщения и подаче воды в секции в расчете 0,12—0,015 л/с·кг отходов форели не наблюдалось (табл. 1).

С 6 июля по 5 августа оводненность тела форели в III варианте была выше, чем во II, а в конце опытного периода — ниже (табл. 2). Снижение расхода воды сказалось и на количестве жира, в начале и конце опыта его содержалось больше в теле рыб, выращиваемых при умеренных концентрациях кислорода в воде (160—150 %). В конце эксперимента в III варианте этот показатель был на 4,6 выше, чем во II.

После подачи оксигенированной воды в опытные секции молодь III варианта по содержанию белка занимала промежуточное положение между контролем и II вариантом. Это указывает на то, что в условиях пониженного расхода воды и при умеренных концентрациях кислорода на первых этапах содержание белка не подвержено резким изменениям, как в вариантах II и IV (табл. 2). Данный показатель более плавно снижился и при последующем выращивании. Содержание азотистых веществ в теле форели, оказавшейся в условиях меньшей проточности, было в два последних периода постоянно больше, чем в контрольных и других опытных секциях.

В середине опыта количество белка в III варианте выше, чем в I и II вариантах, соответственно на 2,0 и 5,6 %, а в конце — на 4,0 и 3,1 %.

Как показали исследования, снижение расхода воды в 2 раза не оказало отрицательного влияния на содержание жира в теле молоди. В таких условиях несколько усиливается пластический обмен, что выражается в более высоком содержании белка в теле рыб.

Представляет интерес установить, за счет каких питательных веществ происходит рост рыб.

В подготовительный период в единице прироста массы рыб жира содержалось 19,7—20,0 %, белка — 61,9—62,3 %, т. е. существенных различий по вариантам опыта не наблюдалось (рис. 1 и 2).

В течение эксперимента в теле контрольной молоди постоянно возрастал прирост жира в сухом веществе (с 27,1 до 31,3 %). При 150—160 и 180—200 % насыщении воды кислородом этот показатель достиг максимума в середине опыта (соответственно 35,0 и 32,7 %). В начале эксперимента наибольший прирост липидов был в варианте IV.

Использование оксигенированной воды для выращивания форели приводит к увеличению прироста жира в единице массы тела рыб, особенно в середине опыта. В это время у молоди, содержащейся при избытке кислорода в воде, накопление энергетических веществ на 7,6 и 15,1 % выше, чем в контроле.

При умеренном насыщении воды кислородом накопление липидов в теле форели несколько больше, чем у рыб IV варианта (35 % против 32,7 %).

В варианте с избыточным насыщением воды кислородом отмечается тенденция к снижению интенсивности жирового обмена в конце выращивания.

Наиболее резко (на 44 %) прирост жира в теле рыб уменьшился при умеренном кислородном режиме (рис. 1). Минимальное количество азотистых веществ в теле рыб накапливалось в середине выращивания — 42,9—49,5 % (рис. 2).

Прирост белка был наибольший в первый период после добавления в воду кислорода, причем в контроле он соответствовал на 12,5 и 12,9 % превышал аналогичные показатели во II и IV вариантах.

В последующем избыточная концентрация кислорода оказывала стимулирующее действие на пластический обмен. Прирост белка в единице тела рыб с 22 июля по 5 августа в опытных секциях был на 7,1 и 15,3 % выше, чем в контроле. Белок накапливался в теле рыб II варианте менее интенсивно, чем в IV варианте.

Как указывалось выше, в конце выращивания прирост жира в опытных вариантах снижался. Это связано с резким повышением пластического обмена при искусственно созданных кислородных условиях, который, судя по приросту белка, значительно выше, чем в контроле (на 16,8—17,7 %).

Очевидно, прирост питательных веществ (жира, белка) в теле молоди рыб так же, как и химический состав, зависит от газового режима воды и значительно меняется в процессе выращивания.

При сниженном расходе воды прирост жира в начальный период был несколько ниже, чем в I и II вариантах. Это, вероятно, обусловлено резким уменьшением точности и избытком кислорода в воде. В дальнейшем липиды в теле молоди III варианта накапливались более интенсивно, чем при 150—160 % насыщения воды кислородом (в середине и конце опыта на 5,1 и 14,4 %) и в контроле (в середине опыта на 21,1 %).

Пластический обмен у форели III варианта в последние два периода несколько выше, чем в I и II (на 0,9—6,9 %). В этом случае прирост белка у рыб в контроле больше (разница 3,4 %).

Уменьшение расхода воды при умеренном насыщении ее кислородом, как показывают экспериментальные данные, приводит к усилению белкового и жирового обмена и не оказывает, по-видимому, какого-либо отрицательного влияния на организм рыб.

Форель является оксифильной рыбой. Мальки радужной форели, выращиваемые при концентрации кислорода 3,0—4,3 мг/л, хуже растут, чем молодь при повышенном уровне этого газа в воде — с 6,7—11,3 мг/л [9]. При содержании кислорода в воде ниже 50—70 % насыщения проявляется угнетающее действие недостатка кислорода на рост молоди лососевых рыб [6]. Скорость роста и потребление корма молодью большеротого окуня повышаются при нормальном насыщении воды кислородом и уменьшаются как при более низких, так и высоких его концентрациях [21]. Однако период изучения влияния различных уровней кислорода в этом случае составлял всего 15 дней. В то же время, по данным А. Г. Минц [7], период адаптации рыб разных видов к повышенному содержанию кислорода составляет от 10 до 20 дней.

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что при выращивании молоди форели при высоких концентрациях кислорода период адаптации продол-

жается около 15 дней. Он характеризуется снижением пластического обмена, т. е. уменьшением содержания белка и его прироста в теле рыб. При этом избыток кислорода не оказывает угнетающего действия на накопление жира в опытных вариантах, за исключением III (низкая проточность).

По окончании периода адаптации наблюдается стимулирующее действие повышенных концентраций кислорода на физиолого-биохимические процессы. Отмечается тенденция к увеличению содержания и прироста жира, белка в теле молоди форели, т. е. усиливается как энергетический, так и пластический обмен.

При длительном (50 дней) содержании рыб в перенасыщенной кислородом воде белок в их теле накапливается интенсивнее, чем у молоди при обычных условиях выращивания. Известно, что увеличение массы органического вещества связано с белковым синтезом, который определяет особенности роста и увеличения массы [17]. Интенсивность накопления энергетических веществ в этих условиях несколько уменьшается.

В процессе выращивания не было отмечено какого-либо отрицательного воздействия высоких концентраций кислорода (в пределах 200 %) на организм форели. Данные о динамике физиолого-биохимических показателей у рыб при избытке кислорода согласуются с результатами, полученными другими авторами [15].

Использование кислорода в рыбоводных хозяйствах, по нашему мнению, целесообразно, поскольку оно дает возможность увеличить уровень интенсификации, несколько повысить обмен веществ, усилить рост и избежать массовых отходов форели в результате заморов.

Выводы

1. Выявлено три периода реакции организма молоди форели на длительное (50 дней) повышение концентрации кислорода в воде:

а) адаптации, характеризующийся уменьшением содержания белка и его прироста в теле рыб при относительно высоком накоплении энергетических веществ (липидов);

б) стимулирующего действия повышенной концентрации кислорода на накопление пластических и энергетических веществ;

в) некоторой активизации белкового роста при уменьшении жировых запасов.

2. Повышенные концентрации кислорода (150—200 %), а также снижение в 2 раза расхода воды (0,04—0,015 л/с·кг при 150—160 % насыщения) не вызвали патологических изменений в организме форели. Содержание белка и жира в их теле было нормальным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов В. А. Гибель годовиков карпа и белого толстолобика от перенасыщения воды кислородом. — В кн.: Вопр. пруд. рыб-ва, 1971, вып. 7, с. 186—192. — 2. Гу-

лидов М. В. Эмбриональное развитие щуки (*Esox lucius* L.) при различных кислородных условиях инкубации. — Вопр. ихтнol., 1969, т. 9, с. 1046—1058. — 3. Гули-

- дов М. В. Влияние различных кислородных условий инкубации на выживание и некоторые особенности развития верховки *Leuciscus delineatus* (Heck.) в эмбриональный период жизни. — *Вопр. ихтиол.*, 1974, т. 14, с. 454—459. — 4. Гулидов М. В. Влияние газового режима среды на эмбриогенез животных. — В кн.: *Внешняя среда и развивающийся организм*. М.: Наука, 1977, с. 174—209. — 5. Гулидов М. В., Попова К. С. Влияние повышенных концентраций кислорода на ход вылупления и морфологические особенности зародышей некоторых карповых рыб. — В сб.: *Эколого-морфол. и эколого-физиол. исследования развития рыб*. М.: Наука, 1978, с. 136—148. — 6. Кляшторин Л. Б. Водное дыхание и кислородные потребности рыб. М.: Пищ. пром., 1982. — 7. Минц А. Г. Приспособляемость молоди рыб к изменениям кислородного режима. — *Вопр. ихтиол.*, 1958, вып. 11, с. 102—115. — 8. Лавровский В. В. Пути интенсификации форелеводства. М.: Легкая пром., 1981. — 9. Лавровский В. В., Капалин Н. Н. Возможность применения кислорода в промышленном рыбоводстве. — *Рыбн. хозяйство*, 1980, № 11, с. 33—37. — 10. Остроумова И. Н. Рост и развитие эмбрионов радужной форели при разной концентрации кислорода в воде. — *Изв. ГосНИОРХ*, 1969, т. 68, с. 202—216. — 11. Привольнев Т. И. Изменение дыхания в онтогенезе рыб при различном парциальном давлении кислорода. — *Изв. ВНИОРХ*, 1947, т. 25, с. 56—60. — 12. Резниченко П. Н. Преобразование и смена механизмов функций в онтогенезе низших позвоночных животных. М.: Наука, 1982. — 13. Садов А. И. Влияние перенасыщенной кислородом воды на развитие молоди. — *Рыбн. хоз-во*, 1948, № 1, с. 43—44. — 14. Строганов Н. С. Роль среды в пластическом обмене у рыб. — В кн.: *Тез. докл. Всесоюзн. Совещ. по эколог. физиол. рыб*. М., 1966, с. 16—18. — 15. Шатуновский М. И. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука, 1980. — 16. Щербина М. А. Физиологическая оценка питательности искусственных кормов для рыб. — *Вопр. ихтиол.*, 1975, т. 15, с. 338—345. — 17. Drastich L. — *Z. vergl. Physiol.*, 1925, Bd. 2, S. 632—657. — 18. Boell E. T. — *Arch. Zool. ital.*, 1966, vol. 51, p. 415—431. — 19. Kinne O., Kinne E. — *Canad. J. Zool.*, 1962, vol. 40, p. 231—253. — 20. Ryback B. — *Nature*, 1960, vol. 185, p. 77—78. — 21. Stewart N. E., Shumway D. L., Dondoroff P. — *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 1967, vol. 24 (3), p. 475—494.

Статья поступила 26 апреля 1983 г.

SUMMARY

With young trout the period of adaptation to higher oxygen concentration (150—160 and 180—200 per cent of oxygenation) is found to last up to 15 days. During this period protein content and gains in the fish body decreased as compared to control (80—100 per cent of oxygenation), accumulation of fat does not decrease. This period being over, there is a tendency to increase the content and gain of fat and protein in the fish body. In growing young trout in over-oxygenated water during 50 days protein in the fish body accumulates somewhat intensively than under normal conditions.