

УДК 597.553.2:661.937

## РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДВУХЛЕТОК РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ, ВЫРАЩЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО КИСЛОРОДА

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

В последнее время в рыбоводстве все чаще используется технический кислород. Применение искусственной оксигенации воды позволяет наиболее полно удовлетворить потребность рыбы в кислороде, в результате значительно снижается ее отход. При низком содержании этого газа в воде усиливается токсичность аммония [13]. Вредное влияние аммония на рыб уменьшается при повышении уровня кислорода с 1,5 до 8,6 мг/л [4, 16].

В литературе в основном имеются данные о действии повышенных концентраций кислорода на рост и развитие молоди рыб [5, 15]. Увеличение концентрации кислорода в воде до 150—200 % насыщения благоприятно влияет на рост форели, при этом снижаются кормовые затраты и более экономно расходуется вода, причем физиологические и биохимические показатели рыб находятся в пределах нормы [3, 6]. Использование технического кислорода наиболее целесообразно в системах с замкнутым циклом водоснабжения, так как в прямоточных бассейнах значительное количество кислорода выносится [13].

За рубежом и в нашей стране имеются промышленные рыбоводные установки по применению кислорода (Штелерматик, Силокс, Био-рек) для выращивания товарной рыбы [1, 4]. Однако до настоящего времени влияние высоких концентраций кислорода на биологические особенности рыб, в частности двухлеток радужной форели, не выяснено. Изучению этого важного для развития индустриального рыбоводства вопроса и посвящена данная работа.

### Схема опыта, материал и методы исследований

Исследования проводили в форелевом хозяйстве «Сходня» на двухлетках радужной форели с 29 апреля по 10 августа 1983 г. (103 дня). В течение 82 дней в опытные бассейны подавалась вода, обогащенная кислородом. Рыб выращивали в 6 квадратных металлических бассейнах объемом 0,4 м<sup>3</sup>, повторность 2-кратная (табл. 1).

В контрольные бассейны артезианская вода поступала из системы оборотного водоснабжения (СОВ), а в опытные — смешанная (из СОВ

Т а б л и ц а 1

Схема опыта

Группа	Посадка			Расход воды, л/с на 1 кг	Содержание кислорода в воде, % насыщения
	шт.	средняя масса, г	общая масса, кг		
1 (контроль)	242	32,3	7,7	0,02	100
2	242	31,6	7,5	0,02	200
3	468	31,2	15,1	0,01	200

и обогащенная кислородом). Вода с высокой концентрацией кислорода (200 % насыщения на входе) использовалась через 3 недели после начала опыта, что позволило рыбе адаптироваться к ней (период адаптации).

Во время опыта еженедельно проводили гидрохимические исследования [9]. Каждый день определяли температуру воды, содержание в ней кислорода методом Винклера и с помощью оксиметра «Оксимет-1».

Рыб кормили 3 раза в сутки продукционным сухим гранулированным кормом РГМ-8В (ВНИИПРХ). Нормы кормления во всех группах были одинаковыми — 4,0—4,9 % от массы рыбы.

О росте рыбы судили по результатам контрольных обловов. (1 раз в 10—20 дней). Среднесуточные приросты массы тела и белых мышц рассчитывали по логарифмической формуле [2]. На основании данных биохимических исследований [12] определяли содержание жира и белка в единице прироста массы белых и красных мышц.

В начале и в конце выращивания устанавливали массу порки, тушки, костей, чешуи, кожи, плавников, головы и мышц (белых и красных) путем взвешивания на электрических весах ВЛК-500.

Экспериментальный материал обработан статистически [8].

### Результаты исследований

Рост форели при различном насыщении воды кислородом и разных плотностях посадки в течение опыта был неодинаковым. В период адаптации форель 3-й группы (высокая плотность посадки) отличалась самой низкой массой — 32,7 г, или на 4,8 г меньше, чем в контроле (рис. 1). Существенных различий по массе рыб между 1-й и 2-й группами не наблюдалось.

Использование дополнительной оксигенации воды в экспериментальных бассейнах (2-я группа) не привело к увеличению скорости роста рыб. Форель в условиях гипероксии росла практически так же, как и в контроле, и в конце опыта ее масса практически не различалась — 80,0 и 79,3 г (рис. 1).

Несколько иные темпы роста характерны для рыб, выращиваемых при повышенной плотности посадки (3-я группа). Масса форели этой группы на протяжении всего эксперимента была меньше, чем у рыб двух других групп, и к концу опыта она составила всего 71,4 г.

Данные о среднесуточном приросте живой массы рыб в период опыта (табл. 2) свидетельствуют о неравномерном их росте. В период адаптации наименьший среднесуточный прирост отмечен в 3-й группе (0,2 %). Значительно выше (в 3,5 раза) этот показатель был у рыб, выращиваемых в других бассейнах. Во время использования кислорода для оксигенации воды среднесуточные приросты живой массы рыбы колебались в 1-й группе от 0,2 до 1,5 %, во 2-й — от 0,1 до 1,5 и в 3-й — от 0,1 до 1,6 %. Однако за весь период эксперимента этот показатель был несколько выше у рыб, содержащихся в условиях гипероксии (1,0 против 0,9 %).

Рост рыбы в целом во многом определяется процессами расходования и накопления питательных веществ в мышцах. Наиболее ценной в пищевом отношении является белая мускулатура, масса которой значительно больше, чем красных мышц. Бе-

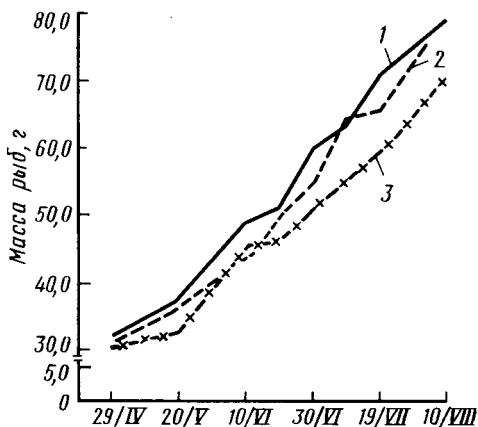


Рис. 1. Изменение массы двухлеток форели в период выращивания.

1—3 — группы рыб.

Среднесуточный прирост живой массы форели (г)

Период	Группа			Период	Группа		
	1	2	3		1	2	3
29/IV 20/V	0,25	0,22	0,07	30/IV 9/VII	0,40	0,84	0,50
20/V 10/VI	0,54	0,35	0,60	9/VII 19/VII	1,00	0,03	0,37
10/VI 21/VI	0,11	0,57	0,06	19/VII 10/VIII	0,40	0,80	0,60
21/VI 30/VI	0,82	0,57	0,34	20/V 10/VIII	0,51	0,53	0,47

лые мышцы представляют собой резерв белка, жира в них содержится меньше, чем в красной мускулатуре. Чтобы установить, за счет каких питательных веществ происходит наращивание массы мышц форели, было определено содержание жира и белка в единице прироста белых мышц (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Содержание жира и белка в единице прироста белых мышц (% от сырого вещества)

Период	Группа					
	1		2		3	
	жир	белок	жир	белок	жир	белок
11/V—14/VI	0,96	15,49	2,47	16,56	3,57	18,52
14/VI—4/VII	5,00	21,21	6,67	20,27	3,74	19,53
4/VII—4/VIII	4,35	18,65	1,79	21,34	0,40	21,90
За весь период опыта	3,86	18,43	2,51	20,35	2,11	20,40

Содержание белка в единице прироста белых мышц связано с условиями выращивания форели. В начальный период подачи кислорода содержание жира в единице прироста мышц форели 2-й и 3-й групп было в 2,6—3,7 раза больше, а белка — на 6,9—19,6 % больше, чем в контроле. В дальнейшем (14 июня — 4 июля) количество жира и белка увеличилось у всех рыб и особенно у форели, выращиваемой в обычных условиях (100 % насыщения воды кислородом).

При более длительном пребывании форели в условиях гипероксии в белых мышцах накапливается больше азотистых веществ (на 14,4—17,4 %), но меньше жира (в 2,4—10,9 раза) по сравнению с контролем. Минимальный прирост жира отмечен при большей плотности посадки (3-я группа). Аналогичные данные получены и за весь период опыта (табл. 3).

В период адаптации рыб 3-й группы относительная масса порки, тушки и мышц у них была несколько меньше, а доля костей больше, чем у форели 1-й и 2-й групп (табл. 4). По мере роста рыбы всех групп (4 августа) уменьшается выход порки и увеличивается масса тушки и мышц. У форели, выращиваемой при повышенных плотностях посадки, масса тушки и белых мышц была наименьшей. Максимальная мясистость отмечена у форели, выращиваемой при высокой насыщенности воды кислородом и при обычной плотности посадки (2-я группа).

По относительной массе кожи форель 2-й и 3-й групп несколько уступала, а по массе чешуи превосходила контроль. Различий между группами в развитии дыхательного аппарата у двухлеток форели не выявлено. Это, по нашему мнению, обусловлено большей консервативностью организма форели старшего возраста по сравнению с молодью. По-видимому, для установления каких-либо изменений массы жабр необходимо более длительное пребывание рыбы в условиях гипероксии.

Морфологический состав тела форели

Показатель	Группа					
	1 и 2		3	1	2	3
	11 мая			4 августа		
Масса рыбы, г	32,1		27,2	106,1	102,5	93,9
В % от массы тела:						
порка	86,9±0,52		84,9±1,39	84,4±1,39	84,3±0,54	82,9±0,56
тушка	62,4±0,54		59,8±0,89	65,4±0,90	65,3±0,90	62,3±0,74
чешуя	2,6±0,21		2,4±0,09	1,8±0,09	2,1±0,21	2,4±0,16
плавники	2,7±0,22		2,4±0,13	2,0±0,14	2,0±0,08	2,1±0,12
голова без жабр	13,8±1,01		13,2±1,02	11,0±0,59	11,9±0,28	11,3±0,28
жабры	3,6±0,24		3,6±0,20	2,8±0,14	2,7±0,12	2,8±0,07
кожа	4,7±0,19		4,2±0,17	4,7±0,20	4,1±0,06	4,4±0,13
белые мышцы	46,8±0,81		44,4±1,34	50,7±0,72	51,5±0,65	48,5±0,76
кости	6,8±0,16		7,6±0,34	6,1±0,15	6,2±0,11	5,9±0,12

Относительная масса печени рыб в определенной степени зависит от условий выращивания. В начале опыта этот показатель был минимальным у всей подопытной форели. В дальнейшем (до 14 июня) у контрольных рыб индекс печени увеличивался и до конца опыта мало изменялся (рис. 2, а). У форели, содержащейся при повышенных концен-

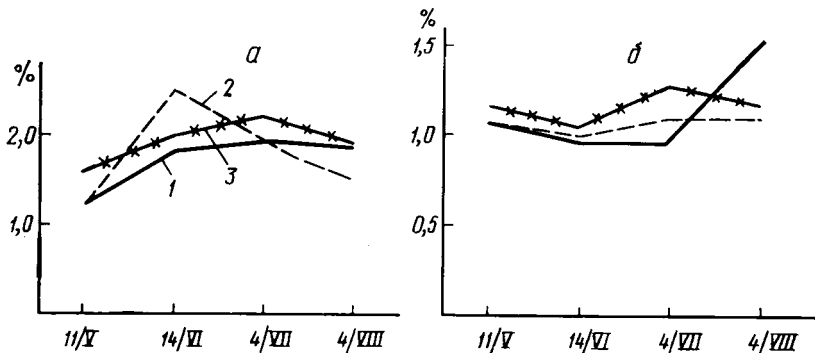


Рис. 2. Изменение относительной массы печени (а) и красных мышц (б) форели (% от массы тела).

1—3 — группы рыб.

трациях кислорода, максимального значения относительная масса печени достигала в разное время: во 2-й группе — 14 июня, в 3-й — 14 июля. В конце эксперимента гепатосоматический индекс у рыб опытных групп резко уменьшается (на 65 %), однако он остается выше, чем в начале опыта, но ниже, чем у контрольной форели. В бассейнах с повышенной плотностью посадки рыб аналогичные изменения размеров печени менее выражены. Индекс печени у рыб опытных групп на протяжении эксперимента, как правило, выше, чем в контроле.

Энергия красных мышц зависит от аэробного расщепления липидов [18]. Васкуляризация красной мускулатуры и количество потребляемого ею кислорода [7] выше, чем в белых мышцах. В связи с этим представляют интерес изменения, происходящие в красных мышцах под действием высоких концентраций кислорода в воде. Длительное пребывание рыбы в таких условиях оказывает определенное влияние на

Таблица 5  
Среднесуточный прирост массы белых мышц форели (%)

Период	Группа		
	1	2	3
11/V—14/VI	1,5	0,8	1,6
14/VI—4/VII	0,8	1,3	1,0
4/VII—4/VIII	1,0	1,1	0,8
11/V—4/VIII	1,0	1,1	1,1

Выход жира и белка в расчете на 1 кг белых мышц форели (г)

Период	Группа					
	1		2		3	
	жир	белок	жир	белок	жир	белок
11/V	16,6	174,2	16,6	174,2	17,4	157,3
14/VI	14,5	167,9	18,8	171,4	21,3	168,2
4/VII	20,4	175,8	27,2	179,1	26,5	177,2
4/VIII	32,3	181,4	22,5	195,2	18,1	191,5

относительную массу красных мышц рыб. Этот показатель в конце опыта у контрольной форели на 39,1 ( $P < 0,001$ ) и 30,8 % ( $P < 0,01$ ) выше, чем соответственно во 2-й и 3-й группах (рис. 2, б), что может свидетельствовать о специфическом воздействии гипероксии на рост красной мускулатуры. В то же время на протяжении всего периода исследований доля этих мышц у рыб опытных групп была несколько выше, чем в контроле.

Для выяснения особенностей процессов роста белых мышц рассчитывали среднесуточные приросты их массы (табл. 5). Данный показатель существенно различался по группам в зависимости от периода выращивания. Среднесуточные приросты массы мышц за весь период эксперимента были несколько выше у форели опытных групп, что свидетельствует о положительном влиянии повышенных концентраций кислорода на процессы роста.

На основании данных о химическом составе мускулатуры и мясности рыб определяли содержание жира и белка в 1 кг белых мышц (табл. 6). Их количество в единице массы мышц за период выращивания увеличилось. Наиболее интенсивно накапливался жир у контрольной форели (с 16,6 до 32,3 г на 1 кг мышц). При выращивании форели в условиях гипероксии до 4 июля количество жира возрастало на 52,3—63,9 %, а в конце опыта уменьшалось на 20,9—46,4 %. На 1 кг мышц контрольной форели жира приходится больше, а белка — меньше, чем у рыб опытных групп.

Средняя масса рыбы, ихтиомасса и выход рыбопродукции во 2-й группе были несколько выше, чем в контроле (табл. 7).

При увеличении концентрации кислорода в воде при одинаковом водообмене в бассейнах, в которых содержалась рыба 1-й и 2-й групп, значительно повысилась масса форели, при этом затраты корма во 2-й группе снизились на 5,6 %. Применение более высоких плотностей посадки рыб (3-я группа) при уменьшении удельных расходов воды (с 0,02 до 0,01 л/с на 1 кг) позволило получить рыбопродукции на 56,5 % больше, чем при обычных условиях выращивания форели. Средняя масса рыб 3-й группы была на 10 % ниже, а затраты корма — на 27,8 % выше, чем в контроле.

Т а б л и ц а 7

Результаты выращивания форели

Группа	Масса рыбы			Рыбопродукция		Затраты корма (кормовой коэффициент)
	средняя, г	общая, кг	кг/м <sup>3</sup>	общая, кг	кг/м <sup>3</sup>	
1	79,3	17,6	44,0	9,9	24,8	3,6
2	80,0	17,8	44,5	10,3	25,8	3,4
3	71,4	30,6	76,5	15,5	38,8	4,6

Примечание. Выход рыбы, рассчитанный с учетом рыбы, взятой на анализы, во всех группах составил 91,7 %.

Таким образом, использование кислорода при таких же плотностях посадки, как и в контроле, не привело к значительному увеличению скорости роста рыб. В то же время среднесуточные приросты массы тела и мышц у экспериментальной форели были несколько больше, чем в контроле. Это, в свою очередь, свидетельствует о положительном влиянии умеренной гипероксии на процессы роста рыб. Ранее отмечалось, что повышенные концентрации кислорода стимулируют накопление белка в теле рыб [11].

Результаты наших исследований показали, что длительное воздействие высоких концентраций кислорода вызывает более интенсивное накопление азотистых веществ в белых мышцах рыб (на 14,4—17,4 %) на фоне снижения среднесуточных приростов жира (в 2,4—10,9 раза). Благодаря этому количество белка в 1 кг мышц возросло на 10,1—14,1 г.

При увеличении плотности посадки рыб при использовании кислорода несколько уменьшаются их средняя масса и выход мышц. Это, по нашему мнению, обусловлено отрицательным влиянием периода адаптации, когда рыба содержалась при 100 % насыщения воды кислородом. Возможно, что большая скученность форели обусловила частичный дефицит кислорода в воде и менее эффективное использование корма на рост. Среднесуточные приросты массы форели в этот период у рыб 3-й группы были минимальными, что наблюдалось на протяжении всего эксперимента, несмотря на несколько большую скорость роста у рыб в последующем.

На основании результатов проведенных исследований следует заключить, что выращивание форели при очень высоких плотностях посадки без дополнительной оксигенации воды нецелесообразно, так как такие условия отрицательно сказываются на массе и мясистости рыб.

Применение технического кислорода при выращивании товарной форели позволило несколько увеличить выход рыбопродукции во 2-й группе (на 4 %) и снизить по сравнению с контролем затраты корма (на 5,6 %). Более высокие рыбоводные показатели получены при повышенных плотностях посадки рыб. Уровень рыбопродукции в этом случае увеличился на 56,6 % при одновременном, но менее значительном повышении кормовых затрат (на 27,3 %). Поскольку реализационная стоимость форели высокая, применение высоких плотностей посадки рыб даже при некотором увеличении затрат кормов экономически оправдано.

Вопросы, возникающие при использовании кислорода в промышленном рыбоводстве, по нашему мнению, необходимо решать в непосредственной связи с проблемой качества кормов и кормления рыб. Повышение концентрации кислорода в воде оказывает большое влияние на обменные процессы у форели, что требует использования сбалансированных высококачественных кормов для наиболее полного обеспечения жизненно важных функций в организме рыб.

## Выводы

1. Различные концентрации кислорода в воде (100 и 200 % насыщения) не оказали существенного влияния на рост двухлеток радужной форели.

2. Длительное пребывание форели в бассейнах с высокой концентрацией кислорода приводит к более интенсивному накоплению белка в белых мышцах (на 14,4—17,4 %) и снижению среднесуточных приростов жира (в 2,4—10,9 раза). В 1 кг мышц рыб в условиях гипероксии содержится на 10,1—14,1 г больше белка, но меньше жира, чем у форели, выращенной при 100 % насыщения воды кислородом.

3. Использование кислорода при выращивании форели позволяет снизить удельные расходы воды (с 0,02 до 0,01 л/с на 1 кг), причем выход рыбопродукции возрастает на 56,6 %, а затраты корма — на 27,3 %.

1. Александрийская А. А., Котляр О. Выращивание рыбы в циркуляционных системах. — Рыбоводство и рыболовство, 1979, № 6, с. 13—15. — 2. Винберг Г. Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: Изд-во БГУ, 1956. — 3. Капалин Л. Л. Физиолого-биохимические показатели и рост молоди радужной форели на полноценных пастообразных кормах при повышенных концентрациях кислорода. — Сб. научн. тр. ГосНИОРХ, 1981, № 176, с. 133—144. — 4. Лавровский В. В. Пути интенсификации форелеводства. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 5. Лавровский В. В., Капалин Н. Н. Возможности применения кислорода в индустриальном рыбоводстве. — Рыб. хозяйство, 1980, № 11, с. 33—37. — 6. Лавровский В. В., Панов В. П., Есавкин Ю. И. Химический состав тела молоди радужной форели, выращенной при повышенном содержании кислорода в воде. — Изв. ТСХА, 1983, вып. 5, с. 139—144. — 7. Матюхин В. А. Биоэнергетика и физиология плавания рыб. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1973. — 8. Плохинский Н. А. Биометрия. Новосибирск: МГУ, 1961. — 9. Привезенцев Ю. А. Гидрохимия. М.: ТСХА, 1972. — 10. Спотт С. Содержание рыбы в замкнутых системах. М.: Легкая и пищ. промышленность, 1983. — 11. Строганов Н. С. Роль среды в пластическом обмене у рыб. — Тез. докл. Всесоюз. Совещ. по эколог. физиолог. рыб. М., 1966, с. 16—18. — 12. Щербина М. А. Физиологическая оценка питательности искусственных кормов для рыб. — Вопросы ихтиол., 1975, т. 15, с. 338—345. — 13. Bergmann S., Geisler R. — Arb. Dtsch. Fidsds-verb., 1980, N 30, с. 146—149. — 14. George J. C. — Am. Midl. Nat., 1962, vol. 68, N 2, p. 487—494. — 15. Knösche R. — Z. Binnenfisch. DDR, 1982, Bd. 29, N 2, S. 44—50. — 16. Merckens J. C., Downing K. M. — Ann. Appl. Biol., 1957, vol. 45, p. 521—527.

*Статья поступила 24 апреля 1984 г.*

## SUMMARY

Increased oxygen concentrations were used in 82-day research. White muscles of the trout grown under high oxygen conditions are characterized by more intensive protein (14.4—17.4 %) accumulation than the control fish group and 2.4—10.9 times lower average daily fat gains. Utilization of oxygen is found to contribute to lower specific expenses of water (from 0.02 to 0.01 l per day per 1 kg), higher (56.6 %) output of fish production and feed expenses (27.3 %).