

УДК 639.211.3+639.311

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЫШЦ И ПЕЧЕНИ ДВУХЛЕТОК РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ КИСЛОРОДА В ВОДЕ

В. В. ЛАВРОВСКИЙ, В. П. ПАНОВ, Ю. И. ЕСАВКИН, А. И. МИЩЕНКО

(Кафедра прудового рыбоводства)

В условиях индустриального рыбоводства все чаще используют технический кислород для обеспечения потребностей в нем рыб при повышенных плотностях посадки. Особенно чувствительны к недостатку кислорода лососевые рыбы, в частности форель. Уменьшение содержания его в воде до 50—70 % насыщения и более приводит к угнетению роста молоди лососевых рыб [3].

Известно, что основными морфологическими структурами организма рыб, потребляющими кислород, являются мышцы и внутренние органы [2, 4]. Мускулатура форели, как и большинства видов рыб, состоит из белых и красных поверхностных мышц, различающихся по морфологическим,

биохимическим и функциональным свойствам [5]. Установлено, что изолированная красная мышца у различных видов рыб потребляет в 2,5—6 раз больше кислорода, чем белая [8, 15]. Однако масса белых мышц значительно больше, чем красных [1]. В связи с этим абсолютное потребление кислорода белой мускулатурой довольно существенно. Печень рыб особенно быстро реагирует на любые изменения во внешней среде.

В настоящее время в литературе отсутствуют сведения о влиянии повышенных концентраций кислорода на процессы, происходящие в организме двухлеток радужной форели.

Нами изучались некоторые биохимические показатели мышц и печени форели, выращиваемой длительное время в условиях гипероксии. Такого рода данные необходимы для разработки биотехники интенсивного форелеводства с применением кислорода.

Схема опыта, материал и методы исследования

Опыт проводили в форелевом хозяйстве «Сходня» Московской области, где была сконструирована экспериментальная установка по подаче кислорода. Двухлеток радужной форели выращивали в 2-кратной повторности в 6 квадратных металлических бассейнах шведского типа, объем каждого из них 0,4 м³. Схема опыта представлена в табл. 1.

В бассейны варианта I артезианская вода подавалась из системы оборотного водоснабжения (СОВ), а в вариантах II и III к воде из СОВ добавлялась вода, обогащенная кислородом в оксигенаторе. В течение первых трех недель содержание кислорода во всех бассейнах было одинаковым. В этот период рыбы адаптировались к новым условиям содержания.

Уровень кислорода в воде измеряли ежедневно по методу Винклера и с помощью оксиметра «Оксимет-1».

Форель 3 раза в день получала сухие гранулированные корма РГМ-8В (ВНИИПРХ). Суточные нормы кормления во всех вариантах были одинаковыми (4,0—4,9 % от массы рыбы).

Для биохимических исследований 4 раза за период опыта у рыб из каждого варианта отбирали пробы белых, красных мышц и

Таблица 1

Схема опыта

Вариант	Плотность посадки, шт. на 1 м ²	Средняя масса при посадке, г	Расход воды, л/с · кг	Насыщение воды кислородом, %
I (контроль)	242	32,3	0,02	100
II	242	31,6	0,02	200
III	468	31,2	0,01	200

печени. После удаления красных мышц белые отпрепарировали с одной стороны тела рыбы, измельчали, тщательно смешивали и затем брали навеску 10—15 г для анализа. Красные мышцы и печень использовали полностью. Содержание воды, жира и белка в мышцах и печени определяли общепринятыми методами [7, 13]. Полученный экспериментальный материал обработан статистически [10].

Результаты исследований

Содержание воды в белых мышцах двухлеток форели по вариантам опыта не различается. По мере роста рыб этот показатель уменьшается. В конце опыта оводненность белых мышц форели во всех вариантах практически одинаковая (табл. 2).

Содержание воды в красных мышцах ниже, чем в белых. В большинстве случаев в процессе выращивания рыб оно уменьшается, и только у форели варианта III к концу эксперимента оводненность красных мышц несколько увеличивается (с 70,2 до 71,6 %) и становится выше, чем в контроле (разница недостоверна).

Необходимо отметить, что в период адаптации у рыб варианта III (повышенная плотность посадки) содержание воды в белых и красных мышцах возросло. Это, вероятно, обусловлено более напряженным режимом их жизнедеятельности в связи с большой скученностью.

Содержание воды в печени форели во всех вариантах в течение опыта изменяется незначительно. Максимальным оно было у рыб контрольной группы.

Повышенные концентрации кислорода в воде оказали существенное влияние на содержание жира и белка в мышцах двух-

леток форели (рис. 1 и 2). В период адаптации рыб (с 29 апреля по 11 мая) количество этих веществ в белых мышцах рыб в контроле и в варианте II не различалось. После насыщения воды кислородом содержание липидов в белых мышцах рыб обоих вариантов увеличилось на 16 %. У форели, содержащейся в обычных условиях, интенсивность накопления жира в белых мышцах снизилась (рис. 1, а). Вероятно, условия гипероксии в начальный период не сказыва-

Таблица 2

Содержание воды в тканях и органах (% двухлеток форели (n=3))

Вариант	Белые мышцы	Красные мышцы	Печень
11 мая			
I	79,3±0,80	75,5±1,93	76,9±1,09
II	79,3±0,80	75,5±1,93	76,9±1,09
III	80,4±1,20	77,7±0,99	76,1±0,50
14 июня			
I	79,0±0,22	73,4±1,27	76,8±0,32
II	78,2±1,10	72,1±1,53	75,3±0,26
III	78,4±0,85	73,3±2,32	75,9±0,13
4 июля			
I	78,8±0,55	72,3±0,30	76,9±0,99
II	77,7±0,76	71,8±2,71	75,7±1,24
III	77,5±0,17	70,1±0,29	75,9±0,29
4 августа			
I	77,3±0,31	68,0±3,06	77,1±1,27
II	77,1±0,51	69,0±1,69	76,1±1,06
III	77,6±0,25	71,6±0,64	75,7±0,39

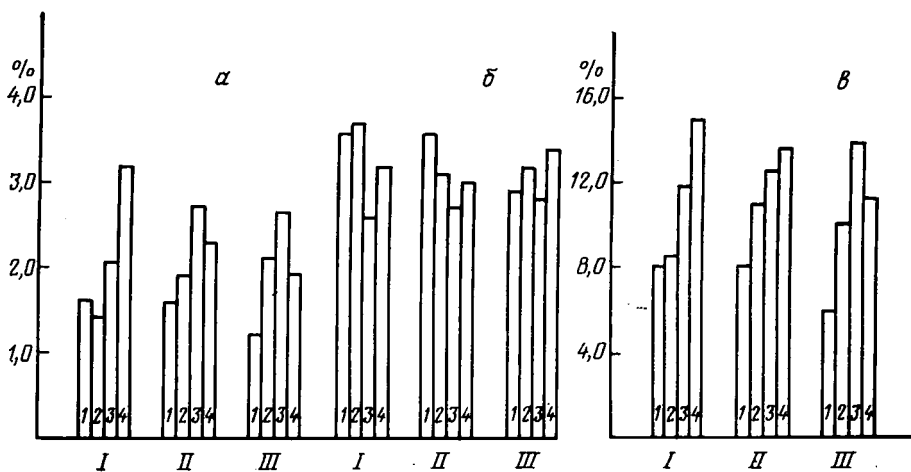


Рис. 1. Динамика содержания жира в белых (а), красных (б) мышцах и печени (в) форели (в % от сырого вещества) в сезон 1983 г.

1 — 11 мая; 2 — 14 июня; 3 — 4 июля; 4 — 4 августа; I, II, III — варианты опыта.

ются отрицательно на отложении жира, а даже, напротив, под их влиянием этот процесс несколько усиливается. Аналогичные данные получены и для молоди форели, выращиваемой при повышенных концентрациях кислорода в воде [6].

Количество жира в белых мышцах двухлеток форели вариантов I и II с 14 июня по 4 июля было практически одинаковым. Его содержание у рыб контрольной и опытной группы увеличилось соответственно на 43 и 44 %. При более длительном нахождении рыб в воде, концентрация кислорода в которой превышала естественное насыщение, жирность белых мышц уменьшилась на 21 %, а в контроле — увеличилась на 58 %.

Динамика содержания жира в красных мышцах двухлеток форели, выращиваемых при различных концентрациях кислорода, несколько иная. Дополнительная оксигенация воды приводит к более значительному повышению количества жира в поверхностных мышцах у рыб варианта II, чем у контрольных (разница 2,6 %). По мере уве-

личения продолжительности нахождения рыб при избытке кислорода в воде относительное количество липидов в их мышцах по сравнению с контролем снижается (на 10 %). В основном изменения в содержании жира в обоих типах мышц довольно сходны (рис. 1, б).

Количество жира в печени рыб в вариантах I и II в течение эксперимента довольно постоянное. Однако имеется ряд особенностей, вероятно, обусловленных различным газовым режимом контрольных и опытных бассейнов. В начале содержания рыб в воде с естественным кислородным насыщением количество жира в печени рыб практически не меняется, а в бассейнах с повышенной концентрацией кислорода — несколько уменьшается (рис. 1, в). В последующем этот показатель у форели обоих вариантов снижается, а в конце эксперимента вновь повышается. Различия в жирности печени между рыбами контрольных и опытных бассейнов незначительные. При увеличении плотности посадки рыб в варианте III (200 % насыщения) содержание

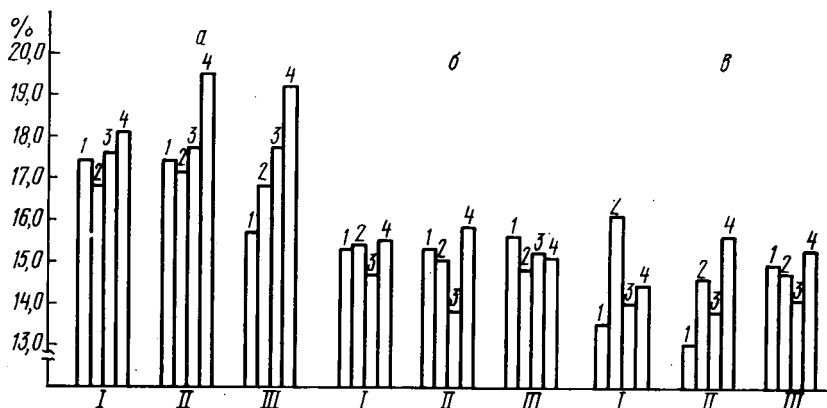


Рис. 2. Динамика содержания белка в белых, красных мышцах и печени форели (% от сырого вещества).

Обозначения те же, что и на рис. 1.

Калорийность мышц и печени форели
(ккал на 100 г сырого вещества)

Ткани и органы	Вариант		
	I	II	III
	1 мая		
БМ	112,6	112,6	98,9
КМ	150,1	150,1	138,9
П	118,7	118,7	114,8
	14 июня		
БМ	107,6	113,6	114,1
КМ	168,4	184,4	176,1
П	120,7	112,8	110,2
	4 июля		
БМ	117,6	124,5	123,8
КМ	118,1	193,6	208,2
П	106,6	102,0	98,8
	4 августа		
БМ	131,7	130,3	124,6
КМ	219,4	213,8	189,8
П	116,3	115,7	113,1

Примечание. БМ — белые мышцы; КМ — красные мышцы; П — печень.

жира в белых мышцах существенно не изменилось по сравнению с таковым в варианте II. В то же время в начальный период опыта количество липидов у рыб варианта III было на 39 % ниже, чем у контрольных. Это, по-видимому, связано с большей плотностью посадки форели и, следовательно, высокой концентрацией метаболитов в бассейнах, что ухудшает условия жизни гидробионтов. После добавления в воду технического кислорода характер изменения количества жира в белых мышцах рыб данного варианта мало чем отличается от такового в мышцах форели варианта II, т. е. в конце выращивания этот показатель становится меньше, чем в контроле (рис. 1, а).

Динамика содержания жира в красных мышцах форели, содержащейся при высоких плотностях посадки (вариант III), такая же, как и в белых мышцах. До обогащения воды кислородом содержание жира в них уменьшилось (на 34 %) по сравнению с контролем, в дальнейшем несколько увеличилось (на 15 %) и в конце эксперимента снизилось по сравнению не только с контролем (на 33 %), но и с форелью варианта II (на 21 %).

В печени рыб варианта III так же, как и у форели вариантов I и II, содержание жира незадолго до конца эксперимента (4 июля) уменьшается и особенно у первых (рис. 1, в). Несмотря на это, конечные результаты свидетельствуют о том, что относительные жировые запасы в печени форели всех вариантов опыта близки.

Таким образом, длительное воздействие гипероксии на форель не приводит к существенному изменению содержания жира в их печени.

Значительных различий по содержанию белка в белых мышцах форели контрольного и опытных вариантов в мае — начале июля не выявлено. У форели вариантов II и III количество азотистых веществ несколько возросло. Следует, однако, отметить, что в конце опыта содержание белка в белых мышцах рыб варианта II увеличилось на 10 %, а в контроле — всего на 3 %, в итоге этот показатель у первых (рис. 2, а) был на 8 % больше ($P < 0,05$). Характер изменения количества белка в красных мышцах форели контрольного и опытных вариантов совпадал. В конце эксперимента при 200 % насыщения воды кислородом азотистых веществ в этих мышцах содержалось на 7 % больше, чем в контроле (рис. 2, б).

Количество белка в печени рыб существенно не различалось в зависимости от содержания растворенного в воде кислорода. К концу опыта у рыб вариантов I и II оно было практически одинаковым (рис. 2, в).

Увеличение плотности посадки рыб в 2 раза при повышенной концентрации кислорода в воде сказалось на количестве белка в мышцах и печени. Уровень белка в белой мускулатуре форели в варианте III в течение периода выращивания возрастает, что не наблюдается в других вариантах опыта. Длительное воздействие повышенных концентраций кислорода, как и в варианте II, обусловило увеличение содержания азотистых веществ (рис. 2, а) по сравнению с контролем ($P < 0,05$).

Количество белка в красных мышцах у

двухлеток, выращиваемых при высоких плотностях посадки, в начале опыта было максимальным (14,9 против 13,5 % в контроле). Повышение концентрации кислорода в воде (до 200 % насыщения) оказало в определенной степени угнетающее действие на аккумуляцию азотистых веществ; их уровень уменьшился на 6 % по сравнению с количеством белка в начале эксперимента. Но это не отразилось на окончательных результатах. Содержание белка в красных мышцах рыб варианта III несколько выше, чем в контроле (рис. 2, б).

В отличие от мышц в печени форели, выращиваемой в гипероксической среде при повышенных плотностях посадки, количество белка было ниже, чем в контроле (рис. 2, в).

В табл. 3 приведены данные о калорийности мышц и печени форели. Самыми калорийными у рыб всех вариантов оказались красные мышцы, содержание жира в которых наиболее высокое. Наименьшее значение этого показателя в начале опыта отмечено у рыб варианта III. При этом калорийность белых мышц была несколько ниже, чем печени. По мере роста рыб энергоёмкость белых и красных мышц в большинстве случаев возрастает, особенно у форели опытных вариантов.

В конце эксперимента у рыб вариантов II и III калорийность мышц несколько ниже, чем в контроле, что обусловлено меньшим содержанием жира при более высоком уровне белка.

В результате исследований выявлены некоторые особенности динамики содержания основных химических веществ (воды, жира, белка) и их распределения в мышцах и печени рыб при повышенных концентрациях кислорода в воде. Отмечается [6, 11], что молодь форели адаптируется к повышенному содержанию кислорода в воде на 15—

17-й день. Сеголетки карпа и линя быстрее приспособляются к измененным кислородным условиям, чем двухлетки [9, 11].

Содержание жира в белых и красных мышцах форели при высоких концентрациях кислорода в воде уменьшается соответственно на 43—74 и 10—33 %. В то же время первоначальная реакция организма рыб на увеличение содержания этого газа в воде сводится в основном к усилению отложения липидов. Аналогичные данные получены нами при выращивании молоди форели при 180—200 % насыщения воды кислородом [6]. При этом высокие уровни кислорода не оказывали существенного влияния на содержание жира в печени рыб.

Снижение жира накопления у форели опытных групп происходит на фоне повышения количества азотистых веществ, особенно в белых мышцах, что указывает на более интенсивные ростовые процессы в организме. Содержание белка в белых и красных мышцах у форели в опытных бассейнах соответственно на 6—8 и 7—9 % выше, чем в контроле. По данным Н. С. Строганова [12], при увеличении содержания кислорода в воде пророст азота, сухого и сырого вещества у пескарей возрастает до 350 %, а у осетров — до 180 %. В печени рыб в условиях гипероксии и повышенных плотностях посадки в основном отмечен более низкий уровень белка, чем у форели, выращенной в обычных условиях.

Известно, что в белых и красных мышцах тип обмена различный. Красные мышцы характеризуются аэробным метаболизмом и используют энергию расщепления липидов, а белые — анаэробным, когда основным энергетическим материалом является гликоген [14]. Нами не выявлено принципиальных различий в содержании основных ве-

ществ в этих мышцах в зависимости от уровня растворенного в воде кислорода.

Калорийность изученных тканей и органов двухлеток радужной форели и, что особенно важно, белых мышц, главным образом идущих в пищу, незначительно различается по вариантам опыта. Это дает основание говорить о высоком качестве рыбы, выращиваемой при повышенных концентрациях кислорода.

При выращивании рыбы не было отмечено каких-либо отрицательных воздействий высоких концентраций кислорода в воде на организм форели. Отходов рыб не наблюдалось.

Выводы

1. При длительном выращивании форели в условиях гипероксии (200 % насыщения) в белых и красных мышцах содержание жира уменьшалось соответственно на 43—74 и 10—33 %, а количество белка увеличилось на 7—8 и 7—9 % по сравнению с контролем. Количество жира и белка в печени рыб по вариантам опыта различались незначительно. Исключение составила форель из бассейнов с повышенной плотностью посадки, где на протяжении опыта, как правило, содержание азотистых веществ было несколько ниже, чем в вариантах I и II.

2. Несмотря на различные типы обмена в белых и красных мышцах не выявлено принципиальных различий в динамике изученных биохимических показателей.

3. Повышенные концентрации кислорода в воде и высокие плотности посадки рыб не вызывали каких-либо патологических изменений в организме рыб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вракин В. Ф., Сидорова М. В., Панов В. П. Сезонные изменения и половые различия морфологического состава тела рыб некоторых видов семейства карповых. — Изв. ТСХА, 1981, вып. 3, с. 136—145. — 2. Квасова И. П., Кузьмина С. А. Некоторые морфологические характеристики налима и судака Курского залива Балтийского моря. — В кн.: Эколого-физиологические особенности крови рыб. М.: Наука, 1968, с. 87—89. — 3. Кляшторин Л. Б. Водное дыхание и кислородные потребности рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1982. — 4. Коржув П. А. Рыбы как обитатели гипогравитационной среды. — В кн.: Эколого-физиологические особенности крови рыб. М.: Наука, 1968, с. 5—11. — 5. Лав Р. М. Химическая биология рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1976. — 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. Лебедев П. Т., Усович А. Г. Методы исследования кормов, органов и тканей жи-

вотных. М.: Россельхозиздат, 1976. — 8. Матюхин В. А. Биоэнергетика и физиология планирия рыб. — Новосибирск: СО АН СССР, 1973. — 9. Минц А. Г. Приспособляемость молоди рыб к изменениям кислородного режима. — Вопр. ихтиол., 1958, вып. 11, с. 102—115. — 10. Плехинский Н. В. Биометрия. Новосибирск: СО АН СССР, 1961. — 11. Стрельцова С. В. Адаптация карпа и радужной форели к различному содержанию кислорода. — Изв. ГосНИОРХ, 1964, т. 58, с. 17—26. — 12. Строганов Н. С. Роль среды в пластическом обмене у рыб. — В кн.: Тез. докл. Всесоюзн. Совещ. по эколог. физиол. рыб. М.: Наука, 1966, с. 16—18. — 13. Щербина М. А. Методика определения переваримости искусственных кормов прудовыми рыбами с использованием метода энергетических веществ (техника проведения экспериментов) и химическая обработка материала). М.: ВАСХНИЛ, 1971. — 14. George J. C. — Am. Midl. Nat., 1962, vol. 68, p. 487—494. — 15. Gordon M. S. — Sci., 1968, vol. 159, p. 87—90.

Статья поступила 3 апреля 1984 г.