

## ГИСТОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МЫШЦ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА КОРМЛЕНИЯ

В. В. ЛАВРОВСКИЙ, В. П. ПАНОВ

(Кафедра прудового рыбоводства)

Форелеводство в нашей стране развивается все более быстрыми темпами. Для выращивания форели используются не только гранулированные, но и пастообразные корма, приготовляемые непосредственно в рыбоводных хозяйствах на основе отходов местного производства (боенские отходы, малощенная рыба и др.). Их скармливают путем разбрасывания по поверхности воды или с кормовых столиков типа карповых, что приводит к размыванию кормов, в результате чего потери достигают 30 % [3].

В связи с этим возникла необходимость в разработке более рационального способа скармливания дорогостоящих форелевых кормов. На кафедре прудового рыбоводства Тимирязевской академии была разра-

ботана аэрокормушка, которая подвешивается над поверхностью воды, что позволило значительно уменьшить потери корма [1, 2]. Эти кормушки все шире применяются в промышленном форелеводстве.

Условия кормления, как известно, оказывают влияние на биохимические и физиологические процессы в организме, что приводит к изменению в структуре его органов и тканей. Однако механизм действия различных способов кормления на продуктивность, морфологические и физиолого-биохимические показатели роста и развития отдельных органов и тканей рыб до сих пор не выявлен. Между тем знание таких взаимосвязей необходимо для поисков резервов получения дополнительной продук-

ции, повышения ее качества и экономии кормов.

Особенности гистоструктуры мышц радужной форели при различных способах кормления изучаются впервые.

### Материал и методика исследований

Для опыта в два производственных нагульных пруда были отсажены двухлетки радужной форели средней массой 24,7 и 28,9 г при плотности посадки 88 шт/м<sup>2</sup> (2,3—2,4 кг/м<sup>2</sup>). Эксперимент проводился в форелевом хозяйстве «Сходня» Московской области в течение 70 дней (с 15 мая по 25 июля). Площадь прудов была одинаковой и составляла 0,02 га. В одном пруду установлено 3 аэрокормушки (опытный вариант) на высоте 3—4 см от поверхности воды, в другом — 4 карповых столика (контроль). Рыбу кормили 3 раза в день тестообразными кормами по нормативам ГосНИОРХ [5]. Состав кормосмеси был следующим (в %): селезенка—55, комбикорм карповый—10, отсев форелевых гранул (114-1)—10, дрожжи гранулированные—10, мука мясо-костная—10, мука рыбная—5. Влажность корма находилась в пределах 51—59 %.

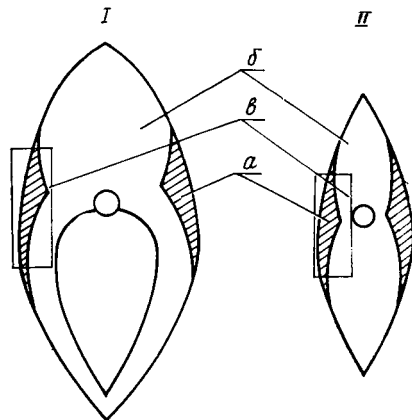
Гидрохимический и температурный режимы в прудах были оптимальными для выращивания форели. Температура воды в период опыта колебалась от 16 до 18° и только в отдельные жаркие дни повышалась до 22,8°. Содержание кислорода в воде—4,8—15,3 мг/л, углекислоты—13,2—28,9 мг/л, рН—8,0, окисляемость—8,1 мг/л.

Для гистологических исследований в начале и конце опыта у 5 рыб из каждого варианта были взяты образцы мышц под спинным и жировым плавниками с таким расчетом, чтобы в них вошли белые и красные мышцы, т. е. на средней линии. Образцы фиксировали в 4 %-ном нейтральном формалине. Пробы мышц заливали в желатин и изготавливали срезы толщиной 10—15 мкм. Препараты окрашивали суданом III и гематоксилином по Караччи. Соотношение мышечной, жировой и соединительной ткани определяли методом аппликации на трихенелтоскопе. Диаметры 75—100 белых и красных волокон измеряли под микроскопом при помощи окуляр-микрометра, кроме того, определяли количество волокон на единицу площади.

Прирост рыбы в опытном пруду был на 20 % выше, чем в контрольном (соответственно 444 и 366 кг). Средняя масса рыб в опытном варианте при облове составила 62,3 г, в контрольном—49,7.

### Результаты исследований

Мускулатура туловища радужной форели представлена красными поверхностными (*Musculus lateralis superficialis*) и белыми мышцами (*Musculus lateralis magnus*), которые имеют мозаичную структуру [10]. Основную массу мускулатуры форели составляют белые мышцы (рисунок). По своим биохимическим свойствам и гистологической структуре белые и красные мышцы



Поперечный разрез тела радужной форели на уровне спинного (I) и жирового (II) плавников.

а — красные мышцы; б — белые мышцы; в — место взятия пробы.

значительно различаются [10, 12, 18, 22].

Функциональное значение белых и красных мышц до сих пор окончательно не установлено. Одни исследователи [10, 25] считают, что красные мышцы рыб работают при низких и крейсерских скоростях плавания, а белые приспособлены для внезапных быстрых бросков с целью ухода от хищника или схватывания добычи. По мнению других [12], красные мышцы не принимают непосредственного участия в движении рыбы, с их помощью белая мускулатура снабжается энергией, которая необходима для выполнения всей мышечной работы, т. е. они близки по своей функции к внутренним органам, в частности к печени.

Тканевый состав белых и красных мышц форели существенно различается (табл. 1). Содержание мышечного компонента на уровне спинного плавника в белой мускулатуре на 9,31 % выше ( $P < 0,001$ ), а жира — значительно ниже, чем в красной ( $P < 0,001$ ), что было отмечено многими авторами [11, 12, 22]. Белые мышцы отличаются высоким содержанием соединительной ткани. Такая же картина наблюдалась на уровне жирового плавника, только мышечной ткани было несколько больше в красной мускулатуре.

Содержание тканевых компонентов в мышцах форели в различных частях тела неодинаковое. В белых мышцах содержание мышечной ткани в каудальном направлении несколько уменьшается, в красных — увеличивается, а доля жира и соединительной ткани у первых возрастает, у вторых — снижается (табл. 1).

Под влиянием различных способов кормления двухлеток радужной форели происходят изменения в гистологическом строении их мускулатуры. При кормлении форели с помощью аэрокормушек в белых мышцах несколько уменьшилась доля мышечного компонента, на уровне спинного и жирового плавников содержание жира уве-

Соотношение тканей (%) в белых и красных мышцах радужной форели  
( $n=6-20$ ; в числителе — мышцы на уровне спинного плавника,  
в знаменателе — на уровне жирового плавника)

Способ кормления	Ткани		
	мышечная	жировая	соединительная
<b>Белые мышцы</b>			
Исходный материал			
—	$95,58 \pm 0,28$	$0,03$	$4,59 \pm 0,28$
	$93,06 \pm 1,21$	$0,14 \pm 0,04$	$6,80 \pm 0,33$
Конец опыта			
Аэрокармушки	$94,61 \pm 0,35$	$0,69 \pm 0,08$	$4,80 \pm 0,26$
	$92,26 \pm 0,38$	$0,49 \pm 0,12$	$7,25 \pm 0,29$
Кормовые столики	$95,43 \pm 0,29$	$0,20 \pm 0,06$	$4,37 \pm 0,29$
	$91,57 \pm 0,79$	$0,01$	$8,42 \pm 0,76$
<b>Красные мышцы</b>			
Исходный материал			
—	$86,17 \pm 0,73$	$13,83 \pm 0,73$	—
	$94,12 \pm 1,50$	$5,88 \pm 1,50$	—
Конец опыта			
Аэрокармушки	$67,62 \pm 2,38$	$32,38 \pm 2,39$	—
	$86,14 \pm 0,88$	$13,31 \pm 0,79$	$0,55 \pm 0,12$
Кормовые столики	$67,44 \pm 1,71$	$31,45 \pm 1,71$	—
	$90,91 \pm 0,35$	$9,09 \pm 0,35$	—

личилось соответственно в 3,5 раза.

Интенсивность жиронакопления в белых мышцах в контроле значительно ниже, и на уровне спинного плавника содержание жира было в 3 раза меньше, чем у форели опытного варианта. На уровне жирового плавника жир практически отсутствовал. В конце эксперимента в обоих вариантах доля соединительной ткани возрастала в каудальном направлении, причем этот процесс наиболее выражен при кормлении рыбы со столиков (табл. 1).

В красных мышцах за период опыта доля жирового компонента возросла, а мышечного — снизилась. На уровне спинного плавника различия в жиронакоплении между опытным и контрольным вариантами практически отсутствовали (табл. 1). В хвостовой части форели, кормящейся со столиков, содержание жира было в 1,5 раза ниже, чем у рыб в пруду с аэрокармушками.

Таким образом, на тканевый состав мышц существенное влияние оказывают способы кормления. В процессе выращивания наблюдались различия в распределении тканевых компонентов в теле рыб. Пониженное содержание жира как в белых, так и в красных мышцах в каудальной части обусловлено неодинаковой активностью различ-

ных частей тела при движении рыб. По данным Г. Е. Шульмана [7], содержание жира уменьшается в каудальном направлении, так как основную роль в движении рыбы играют мышцы задней части туловища, следовательно, энергетические затраты здесь выше, чем в остальных частях тела. Красные мышцы приспособлены для аэробного метаболизма и в качестве «топлива» используют жир, а белые — для анаэробного, и энергетическим материалом у них служит гликоген [18]. Наряду с этим красные мышцы способны к длительному сокращению [23, 24]. Поскольку при плавании жир расходуется не только из красных, но и из белых мышц [8, 9], становится понятным, почему в хвостовой части в мускулатуре обоих типов содержится меньше жира, чем в образцах под спинным плавником.

Наши опыты показали, что в мышцах форели, выращиваемой с использованием аэрокармушек, жир накапливается более интенсивно, чем в контроле. Известно, что жиры, поступающие в пищу, подвергаются в печени специфической перестройке и откладываются у рыб в мышечный миосептах и красных мышцах. У рыб, печень которых не является жировым депо, в частности у лососевых, для энергетического обмена в

Морфологическая характеристика мышц радужной форели (в числителе — мышцы на уровне спинного плавника, в знаменателе — на уровне жирового)

Способ кормления	Диаметр волокон, мкм (n=75—100)		Количество волокон на единицу площади, шт. (n=20)	
	белые	красные	белые	красные
Исходный материал				
—	49,80±1,48	28,72±0,52	13,13±0,33	46,44±0,44
	47,40±1,52	25,56±0,68	18,31±1,71	48,25±2,76
Конец опыта				
Аэрокармушки	53,80±2,00	29,76±0,52	10,75±0,46	36,56±1,04
	47,10±1,60	28,56±0,60	12,31±0,25	39,44±1,93
Кормовые столики	55,32±1,88	27,48±0,57	11,19±0,60	39,63±0,58
	51,00±2,00	28,04±0,64	18,33±0,43	45,83±0,72

первую очередь расходуются жиры из полости тела, а затем из красных мышц [6].

В конце выращивания масса внутреннего жира у форели в контрольном варианте была на 28 % меньше, чем в опытном, что, по-видимому, связано с более высокими потерями корма, поэтому часть полостного жира, очевидно, расходовалась на энергетические процессы. Уменьшилось и содержание жира в мышцах, особенно в хвостовой части, что приводит к повышению доли соединительной ткани.

Способы кормления оказали определенное влияние и на диаметр мышечных волокон форели (табл. 2).

Диаметр красных мышечных волокон форели был достоверно ниже, чем белых, а количество первых на единицу площади больше. Аналогичные данные получены и другими исследователями [4, 10, 14, 18, 19]. От головы к хвосту диаметр белых и красных волокон несколько уменьшается, а количество волокон на единицу площади несколько увеличивается (табл. 2).

В процессе выращивания форели наблюдаются различия между вариантами в росте мышечных волокон. При использовании аэрокармушек диаметр волокон в белых мышцах в конце опыта увеличился на 4,0 мкм (различия недостоверны), а при кормлении со столиков — на 5,5 мкм ( $P < 0,05$ ); количество волокон на единицу площади снизилось соответственно на 2,4 шт. ( $P < 0,001$ ) и 1,9 шт. ( $P < 0,01$ ).

Диаметр волокон белых мышц на уровне жирового плавника у форели опытного варианта не изменился, а в контроле увеличился на 3,6 мкм. По нашему мнению, у форели, получавшей корм из аэрокармушек, повысилась доля межволоконной соединительной ткани, поскольку количество мышечных волокон на единицу площади уменьшилось, а их диаметр не изменился, что не наблюдается при кормлении форели со столиков. Диаметр волокон красных мышц существенно не различался по ва-

риантам. Однако гипертрофия красных волокон на уровне жирового плавника была больше, чем на уровне спинного плавника. Количество волокон красных мышц на единицу площади к концу опыта уменьшилось, особенно у форели в прудах с аэрокармушками. В обоих вариантах количество указанных волокон на уровне спинного и анального плавников в конце эксперимента было меньше, чем в начале. Это говорит о том, что в красных мышцах форели опытного варианта более интенсивно растет межволоконная соединительная ткань.

Диаметр мышечных волокон увеличивается прямо пропорционально длине тела рыбы [20, 22]. В том случае, когда волокна достигают определенного максимального размера, масса мускулатуры возрастает за счет увеличения количества волокон [16, 20]. Результаты наших исследований показали, что независимо от того, увеличивается или остается на прежнем уровне диаметр волокон в процессе роста форели, их количество на единицу площади снижается.

Имеются сведения, что форель в движущейся (проточной) воде растет быстрее, чем в спокойной, и использует корм более эффективно [16, 17]. В нашем опыте скорость движения воды в обоих прудах была крайне незначительной, но в варианте с аэрокармушками поведение форели во время приема корма было более приближено к поведению рыбы в естественных условиях (в условиях горных рек). Это, вероятно, и обусловило различия в развитии белых волокон в контрольном и опытном вариантах, особенно в каудальной части тела. Белая мускулатура форели в контроле растет за счет увеличения диаметров мышечных волокон, что свойственно и форели опытного варианта, но в меньшей степени. В то же время в белых мышцах на уровне спинного плавника, а в красных на уровнях спинного и анального рост мускулатуры происходит в основном

за счет межволоконной соединительной ткани.

### Выводы

1. При использовании аэрокармашек интенсивность роста форели на 20% выше, чем у рыбы, получавшей корм с кормовых столиков.

2. Выявлены различия в тканевом составе белых и красных мышц. В красных мышцах жира содержится значительно больше (5,88—32,38%), чем в белых (0,01—0,69%). Белая мускулатура в основном богаче мышечной и особенно соединительной тканями. Диаметр мышечных волокон красной мускулатуры меньше, чем белой.

3. В белой мускулатуре в каудальном направлении доля мышечной и жировой

ткани, как правило, уменьшается, тогда как соединительнотканного компонента — увеличивается, а в красной мускулатуре увеличивается содержание мышечной ткани.

4. Способ кормления оказывает существенное влияние на тканевый состав мышц. В мышцах форели, выращиваемой с использованием аэрокармашек, жир накапливается в большем количестве, чем в контроле, что, по-видимому, объясняется меньшими потерями корма и лучшим его использованием на прирост.

5. Рост мускулатуры форели происходит в основном за счет увеличения диаметров белых и красных волокон. При использовании аэрокармашек в мышцах увеличивается доля межволоконной соединительной ткани, что, вероятно, связано с активизацией и повышением мышечных нагрузок.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лавровский В. В. Применение автокармашек — наиболее эффективный метод кормления рыб. — Рыбовод. и рыболов., 1976, № 3, с. 6—8. — 2. Лавровский В. В., Санько В. С., Панченков Г. Т. Эффективность применения автокармашек и аэрокармашек при выращивании форели. — Рыбное хоз-во, 1980, № 7, с. 48—49. — 3. Лавровский В. В., Белковский Н. М. Метод определения потерь форелевых кормов от размывания (непосредственно в прудах). — Изв. ГосНИОРХ, 1976, т. 117, с. 108—112. — 4. Литвер Г. М. Строение скелетных мышц в связи с их физиологическими особенностями. — Архив анат., гистол. и эмбриол. — 1956, т. 38, вып. 1, с. 10—17. — 5. Остроумова И. Н., Шабалина А. А. Методические указания по составлению полноценных кормов для радужной форели. Л.: ГосНИОРХ, 1972. — 6. Шатуновский М. И. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука, 1980. — 7. Шульман Г. Е. Особенности динамики жирности крупной ставриды Черного моря в связи с ее биологией. — Тр. АзЧерНИРО, 1964, вып. 22, с. 101—106. — 8. Шульман Г. Е., Щепкин В. Я., Сигаева Т. Г. Динамика липидного состава мышц и печени ставриды при плавании в гидродинамической трубе. — Вопр. ихтиол., 1973, т. 13, вып. 4, с. 693—708. — 9. Шульман Г. Е., Щепкин В. Я., Яковлева К. К., Хоткевич Т. В. Общее представление о роли липидов в биоэнергетике рыб. — В кн.: Элементы физиол.

и биохим. общего и активного обмена у рыб. Киев: Наукова думка, 1978, с. 100—121. — 10. Boddeke R., Slijper J., Van der Stelt A. — Koninklijke Ned. Acad. van Wetenschappen, 1959, Ser. 62, p. 576—588. — 11. Bone Q.-J. Mar. Biol. Assoc. U.K., 1966, vol. 46, p. 321—349. — 12. Braekkan O. R. — Nature, L., 1956, vol. 178, p. 747—748. — 13. Braekkan O. R. — Fisk. Dir. Skr. Ser. Teknol. Undersokelser, 1959, vol. 3(8), p. 42. — 14. Buttкус H. — J. Fish. Res. Bd. Can., 1963, vol. 20, p. 45—58. — 15. Damborgs N. — J. Fish. Res. Bd. Can., 1963, vol. 20, p. 909—918. — 16. Davison W., Goldspink G. — J. Exp. Biol., 1977, vol. 70, p. 1—12. — 17. Davison W., Goldspink G. — J. Exp. Biol., 1978, vol. 74, p. 115—122. — 18. George J. C. — Am. Midl. Nat., 1962, vol. 68, p. 487—494. — 19. George J. C., Bokdawala F. D. — J. Anim. Morph. Physiol., 1964, vol. 11, p. 124—132. — 20. Creeer-Walker M.-J. Cons. perm. int. Explor. Mer., 1970, vol. 33, p. 228—224. — 21. Love R. M. — J. Sci. Fd. Agric., 1958, vol. 9, p. 195—198. — 22. Love R. M. — Chemical Biology of Fishes. N. Y.: Acad. Press, 1970. — 23. Marshall N. B. — The Life of Fish. L.: Weidenfield and Nicolson, 1965. — 24. Mellgren S. L., Mathisen J. S. — Z. Zellforsch., 1966, vol. 71, p. 169—188. — 25. Rayner M. D., Keenan M. J. — Nature, L., 1967, vol. 214, p. 392—393.

Статья поступила 5 мая 1981 г.

### SUMMARY

Histostructure of white and red muscles in two-year trout under different feeding methods was studied. It is shown that histostructure of white and red muscles differs considerably. The method of feeding greatly affects the composition of muscular tissut. In muscles of fist fed in aerofeeders fat is accumulated more intensively than when feeding tables are used (check). The growth of the muscles in the check trout is due to the increase in the diameter of both white and red muscle fiber, while in the experimental trout it is mainly due to higher portion of interfiber connective tissue.