

УДК 597.5:577.124.22:577.353.5

© 1992

## СОДЕРЖАНИЕ ГЛИКОГЕНА И ЛАКТАТА В БЕЛЫХ И КРАСНЫХ МЫШЦАХ РЫБ РАЗЛИЧНОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ ПОДВИЖНОСТИ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ПЛАВАНИИ

Е.Н. Силкина

Карадагский филиал Института биологии южных морей АН Украины, Судак

### Резюме

Исследовали содержание гликогена в мышцах умеренно подвижных рыб при бросковом и крейсерском режимах плавания и быстроплавающих рыб при бросковом плавании. Показано, что интенсивность гликогенолиза в мышцах определяется режимом плавания и естественной приспособленностью рыб к нагрузке. При бросковом режиме отмечено значительное снижение уровня гликогена как в белых (до 70%), так и в красных (до 50%) мышцах рыб умеренной подвижности в отличие от быстроплавающих, у которых содержание гликогена снижается лишь в белых мышцах (на 30%). Крейсерское плавание рыбами умеренной подвижности сопровождается практически одинаковым снижением уровня гликогена в обоих типах мышц (на 80—85%). Отмеченная специфика метаболизма мышц рыб умеренной подвижности, а также особенности морфологической организации их скелетной мускулатуры (масса красных мышц составляет около 2.5%) позволяют заключить, что основным локомоторным органом у этих видов являются белые мышцы.

### Введение

В процессе приспособления рыб к скоростному плаванию увеличение потребностей в энергии привело не только к морфологической дифференцировке скелетной мускулатуры на белые и красные мышцы [1], но и к их метаболической специализации [2]. Несмотря на довольно большое количество публикаций по энергетике скелетной мускулатуры, многие авторы констатируют отсутствие четкого представления о метаболических особенностях этих тканей. Так, например, до сих пор дискутируется вопрос о функциональной роли красных мышц в движении рыб. В основном это связано с тем, что большинство исследований выполнено на рыбах, находящихся в состоянии «относительного покоя» (не подвергнутых функциональной нагрузке), или на быстроплавающих видах. Привлечение видов рыб, обладающих промежуточным или смешанным типом плавания, может быть весьма полезным для выявления метаболических особенностей мышц при разной локомоторной специализации.

Углеводы, в основном гликоген и глюкоза, имеют первостепенное значение при продуцировании энергии в гипоксических условиях, которые часто создаются в мышечной ткани в силу ее функциональных особенностей. В настоящее время еще мало изучены особенности углеводного обмена в белых и красных мышцах при различных режимах плавания рыб. Выявление особенностей углеводного обмена в мышцах разного типа у рыб, имеющих различную локомоторную активность, может

быть полезным для расшифровки механизмов энергообеспечения движения этих животных.

Целью настоящей работы было изучение особенностей содержания гликогена и лактата в белых и красных тулowiщных мышцах рыб различной естественной подвижности в условиях кратковременного и длительного экспериментального плавания.

## Материалы и методика

Использовали 6 видов костистых рыб, отловленных у восточного побережья Крымского полуострова. Исследуемые виды различались по степени естественной подвижности, типу плавания и основным гидродинамическим свойствам.

Ставрида *Trachurus mediterraneus ponticus* Aleev — типичный представитель стайных пелагических рыб. Форма тела приближается к оптимальной для длительного крейсерского плавания: плотное, хорошо обтекаемое тело, высокий хвостовой плавник, присоединенный к телу стебельчатой «ножкой», и др. Для ставриды характерны довольно значительные крейсерские (7—8 длин тела,  $L$ ) и максимальные (12—14 длин) скорости плавания [3, 4]. Черноморская ставрида совершает длительные миграции (до 200 миль) в районы Средиземноморья [5]. Ставрида — хищник, основными объектами ее питания являются быстроплавающие мелкие рыбы (шпрот, хамса, атерина и др.).

Смарыда *Spicara flexuosa* L. — пелагический прибрежный вид. Форма тела смарида не является оптимальной ни для одного из трех основных способов плавания — крейсерского, броскового и маневренного. Однако гидродинамическая специализация ее тела более приспособлена к крейсерскому плаванию. Смарыда не совершает далеких миграций — лишь в северные районы Черного моря. Смарыда — хищник, питается малоподвижными гидробионтами (ракообразные, полихеты, моллюски и т. п.).

Ласкырь *Diplodus annularis* L. — представитель прибрежных вод. Обитает небольшими стайками в зарослях водорослей. В отличие от вышеописанных рыб форма тела ласкыря ближе к оптимально приспособленной для маневренного способа плавания. Больших миграций ласкырь не совершает, однако по своей природе это очень подвижный вид. Значительную часть времени ласкырь проводит в движении, ловко и вертко скользя среди водорослей и скал. Питается ласкырь в основном водорослями.

Барабуля *Mullus barbatus ponticus* L. — придонная относительно подвижная форма, обитает в прибрежной части моря на глубине 15—30 м, находясь в постоянном движении в поисках пищи у дна. Форма тела барабули, так же как и ставриды, не является идеальной ни для одного из способов плавания. Однако такие гидродинамические качества тела барабули, как крупная тяжелая голова, относительно длинное и гибкое тело, позволяют считать, что этот вид более приспособлен к бросковому плаванию. Вместе с тем барабуля совершает довольно протяженные сезонные миграции в северные части Черного моря, а также в Азовское. Питается этот вид донными беспозвоночными, хищник.

Скорпена *Scorpaena roscus* L. — придонная малоподвижная форма, хищник-засадчик. Обитает на глубине 10—20 м, маскируясь различной окраской кожи тела среди камней и водорослей. Форма тела скорпены специализирована для броскового плавания. Большие веерообразные грудные плавники, гибкое мягкое тело, лопастный хвостовой плавник дают возможность сильно отталкиваться при бросковом способе плавания. Крупная и тяжелая голова создает условия для большой инерции, позволяющей скорпене с высокой скоростью передвигаться на короткие дистанции. Миграций скорпена в основном не совершает, лишь в зимние месяцы откочевывает от берега в глубь моря. Большую часть времени этот вид находится в неподвижном состоянии, подстерегая движущуюся добычу, которую хватает на близком расстоянии, совершая при этом мощный молниеносный бросок.

Звездочет *Uranoscopus scaber* L. — донная малоподвижная рыба, хищник-засадчик. Форма тела хорошо приспособлена к бросковому способу плавания. Значительных миграций звездочет не совершает. Большую часть времени он проводит в неподвижном состоянии, зарываясь в песок, подстерегая добычу или прячась от врагов. Добычу звездочет хватает на близком расстоянии, почти не «выходя» из песка.

С учетом литературных данных об уровне двигательной активности, способности к миграциям, величинах крейсерских и максимальных скоростей, а также об основных гидродинамических качествах тела изучаемые виды были условно разделены на три группы: быстроплавающие — ставрида, умеренно подвижные — смарида, барабуля, ласкырь и малоподвижные — скорпена, звездочет [4—7]. Предпринятое нами разделение исследуемых видов на группы не отражает в достаточной мере степени двигательной активности рыб в естественных условиях, поскольку она определяется значительно большим количеством параметров. Например, трудно учесть такой параметр, как выносливость, характеристика которой определяется не только величиной скорости, но и временем выдерживания скоростного плавания. Так, скорпена, двигательная активность которой в обычных условиях низка, может выполнять движения (броски) с довольно высокой скоростью (до 25 м/с). Однако высокую скорость скорпена может выдержать в течение долей секунды (до одной секунды), в то время как ставрида с такой скоростью может плыть в течение нескольких минут [8].

Принятая ранее классификация на стайеров и спринтеров, определяемая лишь по скоростным свойствам, также не в полной мере характеризует истинные качества двигательной активности рыб [8]. Пол Уэбб [9] в своих исследованиях более полно подошел к характеристике уровня двигательной активности рыб. Определяя корреляцию между способом плавания и формой тела, он разделил рыб на «специалистов»

и «генералистов». «Специалисты» — виды, у которых форма тела оптимально приспособлена для выполнения одного из трех основных способов плавания: крейсерского, маневренного или броскового. «Генералисты» — рыбы, которые с одинаковым успехом могут выполнять все типы плавания, но эти виды не столь искусны в движении, как «специалисты». Согласно этой функционально-морфологической плоскостной модели типов плавания рыб, исследованные нами рыбы можно распределить в следующем порядке: «генералисты» — смарида, барабуля; «специалисты»: ставрида — в крейсировании, ласкиры в маневрировании, скорпена, звездочет — в бросковом плавании. Вместе с тем такая классификация рыб также не характеризует в достаточной мере степени двигательной активности исследуемых рыб. Поэтому в нашей работе при интерпретации полученных данных мы использовали принятное нами условное разделение рыб на быстроплавающих, умеренно- и малоподвижных.

Рыбу отлавливали ставными сетями в весенне-осенний период (май—октябрь). В опыт брали одноразмерную (для каждого отдельного вида) рыбу. Перед опытом рыбу выдерживали сутки в проточном бассейне без кормления. Партию рыб после суточной акклиматизации считали контрольной, физиологическое состояние этих рыб принимали за состояние относительного покоя. Мышечные нагрузки: кратковременное (2—3 мин) интенсивное (скорость до 10 L/c) и длительное (2—6 ч) умеренное (скорость 5—6 L/c) плавание до утомления — задавали на гидробионическом стенде, принцип работы которого основан на реофильтральной реакции рыб. Количественное определение гликогена и лактата в мышцах проводили по стандартным цветным реакциям с аントроном и пара-оксицианилом соответственно [10], соблюдая необходимый режим охлаждения при фиксации мышц. Навески белых скелетных мышц (~100 мг) и красных латеральных (~50 мг) брали в районе боковой линии на уровне 3—6-го луча спинного плавника. Концентрацию исследуемых веществ выражали в мг% на сырую массу мышц. Результаты обработаны методами вариационной статистики.

## Результаты и обсуждение

В состоянии относительного покоя (свободное спокойное плавание) у исследуемых рыб содержание гликогена в белых скелетных мышцах в 2—4 раза ниже, а концентрация лактата в 1.3—4 раза выше, чем в красных латеральных мышцах (табл. 1). Соотношение концентраций гликоген:лактат в белых мышцах (от 1:0.3 до 1:0.8) также больше, чем в красных (от 1:0.03 до 1:0.1). Это означает, что в белых мышцах протекает интенсивный гликолиз, а в красных этот процесс выражен в меньшей степени, в результате чего, видимо, уровень гликогена в них значительно выше. Метаболическая разнородность двух типов мышц неоднократно отмечалась у других видов рыб [11—15].

Таблица 1

Содержание гликогена и лактата в белых и красных мышцах ( $\bar{x} \pm S_x$ ) у рыб различной естественной подвижности в состоянии относительного покоя — весенний период (мг% на влажную массу мышц)

Ткань, вещество	Количество определений	Мышцы	
		белые	красные
<b>Ставрида:</b>			
гликоген	41	348.0±35.7	1110.5±101.8
лактат	16	194.0±14.0	77.4±7.2
<b>Смартида:</b>			
гликоген	36	272.2±26.1	521.5±51.2
лактат	43	143.0±7.2	65.3±5.4
<b>Барабуля:</b>			
гликоген	48	170.5±16.4	477.6±32.8
лактат	39	122.0±6.2	27.3±2.6
<b>Ласкиры:</b>			
гликоген	49	289.0±23.1	959.9±78.4
лактат	27	127.0±15.7	65.3±5.3
<b>Скорпена:</b>			
гликоген	20	270.6±25.8	1810.5±183.0
лактат	21	228.5±9.4	177.2±6.9
<b>Звездочет:</b>			
гликоген	24	449.0±34.8	3407.1±281.0
лактат	23	149.0±14.1	109.1±13.0

Таблица 2

Содержание гликогена и лактата ( $\bar{x} \pm S_x$ ) в белых и красных мышцах рыб различной естественной подвижности при кратковременном интенсивном плавании весной (мг% на влажную массу мышц)

Ткань, вещество	Составление относительно го покоя	Кратковременное интенсивное плавание
<b>Ставрида</b>		
Белые мышцы:		
гликоген	$387.5 \pm 27.0$ (12)	$272.1 \pm 28.4$ (21)
лактат	$213.5 \pm 8.5$ (8)	$270.7 \pm 24.3$ (10)
Красные мышцы:		
гликоген	$1123.0 \pm 80.0$ (8)	$1082.2 \pm 113.0$ (9)
лактат	$48.4 \pm 4.6$ (6)	$37.4 \pm 3.5$ (10)
<b>Смарыда</b>		
Белые мышцы:		
гликоген	$302.6 \pm 27.6$ (8)	$147.2 \pm 15.1$ (8)
лактат	$92.5 \pm 9.6$ (6)	$234.1 \pm 17.6$ (9)
Красные мышцы:		
гликоген	$746.2 \pm 81.2$ (6)	$378.5 \pm 48.9$ (6)
лактат	$68.7 \pm 7.8$ (6)	$107.4 \pm 6.0$ (11)
<b>Барабуля</b>		
Белые мышцы:		
гликоген	$122.4 \pm 11.0$ (11)	$18.0 \pm 2.0$ (11)
лактат	$29.2 \pm 2.0$ (8)	$85.7 \pm 8.4$ (9)
Красные мышцы:		
гликоген	$465.9 \pm 51.0$ (12)	$235.1 \pm 21.0$ (13)
лактат	$10.5 \pm 1.1$ (6)	$29.1 \pm 2.6$ (9)
<b>Ласкирь</b>		
Белые мышцы:		
гликоген	$206.8 \pm 27.0$ (6)	$36.3 \pm 2.9$ (6)
лактат	$146.0 \pm 6.0$ (6)	$199.6 \pm 11.0$ (6)
Красные мышцы:		
гликоген	$1118.3 \pm 92.0$ (16)	$716.1 \pm 74.6$ (8)
лактат	$101.1 \pm 12.1$ (16)	$125.1 \pm 14.0$ (7)

Примечание. Цифры в скобках — число экспериментов.

У рыб различной естественной подвижности уровни исследуемых субстратов различны. Однако четкой взаимосвязи величины показателей со степенью двигательной активности рыб нами не выявлено. Так, наибольшее содержание гликогена как в белых, так и в красных мышцах отмечено у малоподвижного звездочета и у быстроплавающей ставриды, а лактата — у скрепены и ставриды; наименьшие показатели — у барабули, характеризующейся умеренной подвижностью. Вместе с тем наибольшие различия между белыми и красными мышцами в содержании гликогена наблюдаются у звездочета (в 7.6 раза) и скрепены (в 6.7 раза), наименьшие — у смариды (в 2 раза) и барабули (2.8 раз). Это может свидетельствовать о низкой интенсивности гликогенолиза в красных мышцах малоподвижных рыб в сравнении с умеренно- и быстроплавающими видами. Низкую метаболическую активность (по интенсивности включения  $^{14}\text{C}$  в энергетические субстраты, а также по активности

Таблица 3

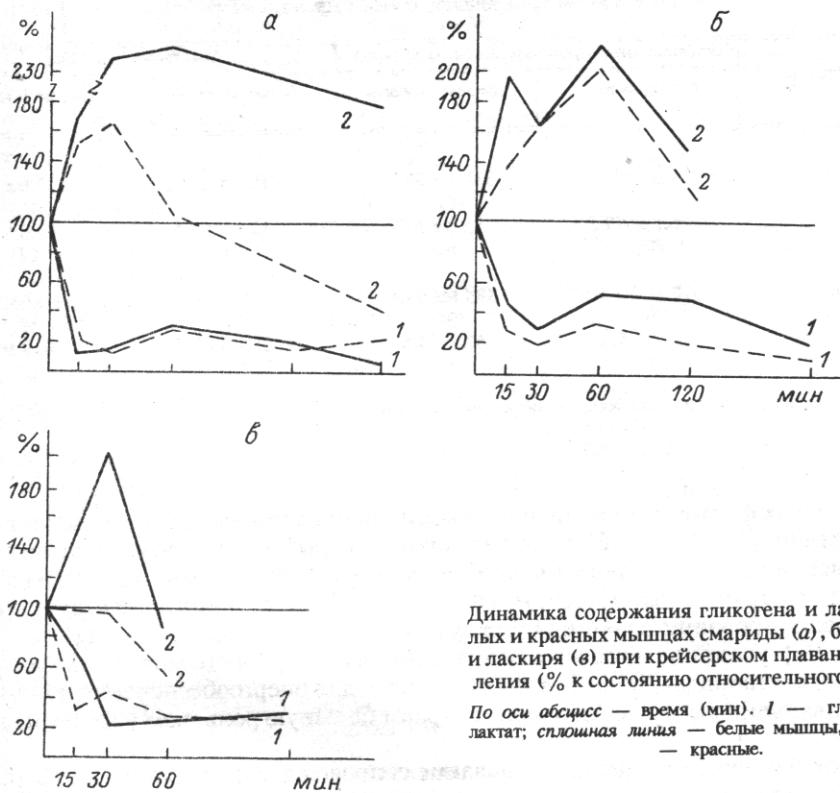
Содержание гликогена и лактата в мышцах рыб при кратковременном интенсивном плавании осенью (мг% на влажную массу мышц,  $\bar{x} \pm S_x$ )

Вид, вещество	Состояние относительного покоя (контроль)		Мышечная нагрузка	
	белые мышцы	красные мышцы	белые мышцы	красные мышцы
Ставрида:				
гликоген	319.3±45.0 (7)	631.1±66.8 (6)	104.8±9.3 (7)	433.6±42.0 (6)
лактат	76.8±7.9 (8)	55.0±7.4 (6)	125.8±7.5 (9)	40.8±4.7 (7)
Смарыда:				
гликоген	317.6±21.0 (9)	595.6±55.1 (9)	32.1±3.0 (8)	156.6±12.0 (8)
лактат	151.8±5.8 (14)	47.1±4.5 (18)	295.9±7.5 (8)	62.9±7.9 (6)

Примечание. Цифры в скобках — число экспериментов.

окислительных ферментов) мышечной ткани малоподвижных рыб отмечали другие исследователи [16, 17]. У быстроплавающих же рыб интенсивность углеводного обмена, видимо, как и метаболизма вообще, в белых и красных мышцах существенно выше. Так, у сардинеллы, лосося, макрелешушки, средиземноморской ставриды различия в депонировании гликогена между двумя типами мышц уменьшаются (в 1.5 раза) [18, 19], увеличивается активность ферментов аэробного метаболизма в красных мышцах (ставрида) [20]. По всей видимости, для энергообеспечения локомоции быстроплавающих рыб красные мышцы играют большую роль, чем у менее подвижных видов.

Кратковременное интенсивное плавание сопровождается увеличением гликоголиза и накоплением лактата в мышцах всех исследуемых видов (табл.2). При этом наибольший уровень гликоголиза наблюдается в белых гликолитических мышцах. Так, соотношение гликоген:лактат в белых мышцах может увеличиваться с 1:0.3 до 1:5.5, а в красных — лишь с 1:0.02 до 1:0.3. Увеличение метаболической активности белых мышц при кратковременном интенсивном плавании коррелирует с повышением электромиографической активности этих мышц в аналогичных условиях [21, 22]. Это свидетельствует о повышении функциональной активности белых мышц при указанном режиме плавания. Наибольшая интенсивность гликолитических процессов в белых мышцах при исследованной мышечной нагрузке отмечена у барабули, отличающейся умеренной подвижностью (соотношение гликоген:лактат увеличивается с 1:0.2 до 1:4.7), и у маневренного ласкиря (гликоген:лактат увеличивается с 1:0.7 до 1:5.5). Наименьшие изменения при этом происходят в белых мышцах быстроплавающей ставриды (гликоген:лактат изменяется с 1:0.6 до 1:1.0). Следует отметить, что у ставриды и в красных мышцах по сравнению с контролем отмечены наименьшие изменения уровней гликогена и лактата: содержание лактата увеличивается на 40%, а концентрация гликогена не изменяется вовсе. В то же время у остальных исследуемых менее подвижных рыб наблюдается более значительное снижение (на 35—50%) уровня гликогена в красных латеральных мышцах при кратковременном интенсивном плавании. Снижение уровня гликогена при интенсивном плавании в красных мышцах, функциональная активность которых при бросковых скоростях минимальна [21, 22], видимо, обусловлена высокой потребностью организма в углеводах. Вполне вероятно, что при энергообеспечении предъявленной мышечной нагрузки запасенного в белой мускулатуре гликогена становится



Динамика содержания гликогена и лактата в белых и красных мышцах смарида (а), барабули (б) и ласкиря (в) при крейсерском плавании до утомления (% к состоянию относительного покоя).

По оси абсцисс — время (мин). 1 — гликоген, 2 — лактат; сплошная линия — белые мышцы, пунктирная — красные.

недостаточно, что и приводит к употреблению углеводов из других тканей (красные мышцы, печень). Этот вывод хорошо сочетается с результатами исследований метаболизма при кратковременном интенсивном плавании в осенний период, когда затраты на энергообеспечение движения увеличиваются.

Исследования, проведенные нами осенью на ставриде и смариде, по сравнению с экспериментами летом выявили более интенсивное использование гликогена белыми и красными мышцами у этих видов (табл. 2, 3). Участие гликогена красных мышц в энергообеспечении кратковременного интенсивного плавания, особенно выраженное у особей умеренной подвижности, скорее всего, можно рассматривать как факт в пользу концепции о метаболической функции этих мышц в локомоции рыб, которая поддерживается многими исследователями [11, 12, 24, 25].

Крейсерское плавание сопровождается более значительным, чем при двухминутной интенсивной нагрузке, снижением уровня гликогена в тканях исследуемых рыб. Изменение содержания гликогена и лактата в мышцах и печени при длительном (2—5 ч) дозированном по времени (15, 30, 60, 120 мин) плавании до утомления было изучено на смарида, барабуле и ласкире — видах, отличающихся меньшим уровнем двигательной активности, чем ставрида. В отличие от быстроплавающих видов, исследованных ранее сотрудниками лаборатории [3, 26], у рыб умеренной естественной подвижности четких различий в использовании гликогена между белыми и красными мышцами при длительном крейсерском плавании нами не отмечено (см. рисунок, а—в). Особенно наглядно это выявляется в мышцах барабули: в период 15–

30-, 120-минутного крейсерского плавания относительное потребление гликогена в белых и красных мышцах одинаково и лишь в момент утомления в белых мышцах уровень гликогена снижается более существенно (на 90%), чем в красных (на 78%) (см. рисунок, б). Однако у этого вида различия между двумя типами мышц проявляются в величине концентраций лактата: уровень избыточного лактата в белых мышцах при крейсерском плавании существенно выше, чем в красных. У смарида при исследованном крейсерском плавании до утомления относительное содержание гликогена и лактата в белых и красных мышцах мало различается, только в период 120-минутного крейсерского плавания траты гликогена в красных мышцах достоверно выше, чем в белых (см. рисунок, а). У ласкиря, отличающегося маневренным способом плавания, отмечены наименьшие траты мышечного гликогена при крейсерском плавании и выявлены более четкие различия между уровнями гликогена и лактата у белых и красных мышц (см. рисунок, в). Особенно наглядно это выявляется в период 15- и 30-минутного крейсерского плавания ласкиря, однако в период утомления относительные траты гликогена в белых и красных мышцах одинаковы, т.е. тенденция разной степени использования гликогена белыми и красными мышцами проявляется у этой рыбы в начальный период крейсерского плавания, а у смарида — в период стационарного крейсирования, в то время как у барабули при этом режиме такой направленности не отмечено. Возможно, это является отражением степени естественной приспособленности исследуемых видов к длительному плаванию с крейсерской скоростью и, вероятно, определяется уровнем гликогена в красных мышцах, функционально более активных, чем белые мышцы при этом режиме движения. У ласкиря, имеющего более высокое содержание гликогена в красных мышцах, чем смарида и барабуля (табл. 1) и функционально приспособленного к маневренному плаванию, потребление углеводов мышцами более экономное, чем у менее подвижной барабули.

В заключение следует отметить, что различная степень использования гликогена белыми и красными мышцами при кратковременном и длительном режиме плавания связана с интенсивностью функциональной активности мышц и обусловлена экологической специфичностью рыб. При бросковом режиме плавания наибольшая интенсивность гликогенолиза отмечена в белых скелетных мышцах умеренно подвижных рыб. При длительном крейсерском плавании в отличие от быстроплавающих видов у рыб умеренной подвижности отмечены высокие траты гликогена в обоих типах мышц. Вероятно, это связано не только со спецификой метаболизма мышц, но и с особенностями структурной организации скелетной мускулатуры этих видов. Так, масса красных мышц у исследуемых видов умеренной подвижности в отличие от быстроплавающих существенно мала (до 2.5%). Естественно, что такое количество красных мышц не в состоянии обеспечить длительное крейсерское плавание и, видимо, у рыб умеренной подвижности, так же как и у малоподвижных, основным органом локомоции являются белые скелетные мышцы.

#### Список литературы

- [1] Хочачка П., Сомеро Дж. Биохимическая адаптация. Пер. с англ. М., 1988.
- [2] Bone O. Locomotor Muscle // Fish Physiology. New York; San Francisco; London: Acad. Press, 1978. V. 17. P. 361—424.
- [3] Морозова А.Л., Астахова Л.П., Силкина Е.Н. Углеводный обмен при плавании рыб // Элементы физиологии и биохимии общего и активного обмена у рыб. Киев, 1978. С. 122—144.
- [4] Павлов Д.С. Поведение и миграция рыб. М., 1982.
- [5] Световидов А.Н. Рыбы Черного моря. М.; Л., 1964.
- [6] Алеев Ю.Г. Функциональные основы внешнего строения рыбы. М., 1963.
- [7] Алеев Ю.Г. Нектон. Киев, 1976.
- [8] Сабуренков Е.Н., Сбикин Ю.Н., Павлов Д.С. О скоростях движения рыб в зоне гидротехнических сооружений. М., 1967. С. 166—179.

- [9] Узбб П.У. Корреляция между формой и функцией в плавании рыб // В мире науки. 1984. № 9. С. 34—45.
- [10] Мешкова Н.П., Северин С.Е. Практикум по биохимии. М., 1979. С. 41—45.
- [11] Лав Р.М. Химическая биохимия рыб. М., 1976.
- [12] Огородникова Л.Г., Лебединская М.И. Содержание гликогена, активность фосфорилазы и глюкозо-6-фосфатазы в быстрых и медленных мышцах карпа *Cyprinus carpio* // Ж. эвол. биохим. и физиол. 1984. Т. 20. С. 17—19.
- [13] Плисецкая Э.М. Гормональная регуляция углеводного обмена у низших позвоночных. Л., 1975.
- [14] Johnston J.A., Davison W., Goldspink G. Energy metabolism of carp swimming muscles // J. Compar. Physiol. 1977. V. 114. P. 203—216.
- [15] Wittenberger C. The glycogen turnover rate in mackerel muscles // Mar. Biol. 1972. V. 16. P. 279—280.
- [16] Хоткевич Т.В. Особенности метаболизма рыб с разным уровнем функциональной активности // ДАН СССР. 1974. Т. 219. С. 505—507.
- [17] Эмеретти И.В. Эколого-физиологические особенности энергетического обмена у черноморских рыб: Автореф. канд. дис. Баку, 1985.
- [18] Трусевич В.В. Определение содержания гликогена в тканях средиземноморских рыб // Экспедиционные исследования в Средиземном море. — 72-й рейс НИС «Академик А. Ковалевский» (июль — сентябрь 1973). Киев, 1975. С. 14—19.
- [19] Davison W., Goldspink G. The cost of a swimming for two teleost fish // New Zealand I. Lool. 1984. V. 11. P. 225—232.
- [20] Эмеретти И.В. Активность ферментов энергетического обмена в тканях рыб разной естественной подвижности // Экология моря. 1987. Т. 26. С. 57—60.
- [21] Диверт В.Э. Электромиографический анализ функциональной активности двигательной мускулатуры хариуса: Автореф. канд. дис. М., 1977.
- [22] Ефимова В.М. Структурно-функциональные особенности организации костистых рыб разной естественной подвижности: Автореф. канд. дисс. Киев, 1985.
- [23] Итина Н.А. Структура и функция мышечных волокон у низших позвоночных // Усп. соврем. биол. 1970. Т. 70. С. 286—304.
- [24] Шульман Г.Е., Щепкин В.Я., Яковлева К.К., Хоткевич Т.В. Липиды и их исследование при плавании рыб // Элементы физиологии и биохимии общего и активного обмена у рыб. Киев, 1978. С. 100—121.
- [25] Wittenberger C., Coprean D., Haller J. Corina Rosioru New data on the metabolism of lateral muscle in fish // Rep. roum. Biochem. 1988. V. 25. P. 173—178.
- [26] Морозова А.Л., Астахова Л.П. Характер углеводного обмена в тканях рыб при мышечной работе // Энергетические аспекты роста и обмена водных животных: Матер. симпозиума (Севастополь, октябрь, 1972). Киев, 1972. С. 154—155.

Поступила 24 XII 1991

## GLYCOGEN CONTENT OF WHITE AND RED MUSCLES IN FISHES WITH DIFFERENT DEGREE OF NATURAL MOTILITY DURING EXPERIMENTAL SWIMMING

E.N. Silkina

Karadag Department of the Institute of Southern Seas, Ukrainian Academy of Sciences, Sudak

### S U M M A R Y

Glycogen content of muscles has been investigated in moderately motile fishes during burst and cruising swimming, as well as in fast swimming fishes during burst swimming. It was shown that the intensity of glycogenolysis in muscles depends on the swimming regime and natural adaptation of fishes to physical loading. During burst swimming, significant decrease in glycogen content was found in both white ( up to 70% ) and red muscles ( up to 50% ) of fishes with moderate natural motility, in contrast to fast swimming fishes in which glycogen content decreases only in white muscles ( by 30% ). Cruising swimming in moderately motile fishes results in practically equal decrease of the glycogen content in both types of muscles ( by 80—85% ). The mentioned specificity of metabolism in fishes with moderate motility, as well as peculiarities of morphological organization of their skeletal muscles ( the mass of red muscles amounts up to 5% ), suggest that the main locomotor organ in these species is presented by white muscles.