

## РАСХОД ЭНЕРГИИ КАРПА ПРИ ПЛАВАНИИ В СОСТАВЕ КОСЯКА

Представлены экспериментальные данные, указывающие на снижение затрат энергии карпа при содержании в садках с плотностью посадки 200 шт/м<sup>2</sup>. Сделано предположение, что данное явление могло быть обусловлено передвижением рыбы в составе гидродинамически оправданных групп.

Основной поведенческой реакцией рыбы, связанной с обитанием в водной среде, является реореакция (реотаксис). Последняя имеет врожденный характер и заключается в том, что, находясь в потоке воды, животное, как правило, движется против течения, сопротивляясь сносу вниз. Все другие особенности поведения рыб в потоке наблюдаются уже на фоне проявления этой специфической реакции (Д.С. Павлов, 1983). Реореакция может быть охарактеризована двумя основными функциональными показателями: пороговыми и критическими скоростями течения.

Минимальные скорости потока, при которых возникает реореакция, являются пороговыми. При скоростях течения ниже этой величины рыбы держатся свободно по отношению к течению и окружающим ориентирам, передвигаются в различных направлениях, независимо от вектора течения. Пороговые скорости течения колеблются у рыб разных видов от 0,1 см до 25 см/сек (G.P. Arnold, 1974).

Критическая скорость течения – это верхняя граница того интервала скоростей, в пределах которого возможно удержание рыб в покое, ее величина равна минимальной скорости потока, который сносит рыб.

Наукой накоплен большой багаж знаний, охватывающий изменения в работающей мышце.

В свое время было обнаружено, что разные типы нагрузки обуславливают включение определенных механизмов превращения веществ в организме.

Момент начала работы сопровождается резким повышением потребления кислорода тканями, однако в силу физиологических особенностей кровеносная и дыхательная системы неспособны одномоментно увеличить доставку кислорода к клеткам тела. Поэтому недостающая часть энергии в начале мышечной нагрузки высвобождается в процессе анаэробных гликогенолитических процессов (А.И. Колотилова, 1969).

Это незамедлительно приводит к образованию в тканях недоокисленных продуктов обмена, которые в основном представлены лактатом (R. Margaria, 1971).

При умеренной работе уже в следующей фазе происходит перекрытие образовавшегося дефици-

та кислорода за счет активизации жаберной вентиляции и усиления кровообращения в работающих мышцах (E.C. Black et. al, 1966).

Однако при интенсивной работе, когда энергетические затраты организма слишком велики и не могут быть покрыты за счет резервов дыхательной и кровеносной систем, в живом теле наблюдается прогрессирующее накопление недоокисленных продуктов, величина кислородного долга повышается. И как результат наступает быстрое утомление.

Умеренная работа также сопровождается утомлением, но в этом случае оно может быть растянуто во времени, причем существует определенный энергетический оптимум, позволяющий осуществлять работу неограниченно долго. Биохимически это обосновывается результатами исследований F.W.H. Beamish (1968), по которым при умеренной работе у рыб концентрация молочной кислоты в мышцах уменьшается с увеличением, до некоторого предела, скорости передвижения благодаря улучшению аэрации крови.

Если рассматривать вышесказанное относительно градации скоростных режимов работы, то можно отметить, что плавание с крейсерской скоростью, как правило, не сопровождается накоплением недоокисленных продуктов обмена (лактата) в организме рыбы. Тогда как с переходом на максимальные скорости плавания в крови и мышцах рыб значительно возрастает уровень лактата.

В зависимости от величины двигательной активности изменяется и продолжительность времени, необходимого для восстановления сил после плавания, что выражается в нормализации уровня лактата в теле. Так, восстановительный период может длиться от 3-10 часов до 24 часов и более (C. Wendt, 1965).

Для примера можно привести результаты исследований В.И. Турецкого (1972) по определению величины кислородного долга у хариусов. Автор обнаружил, что относительно малый кислородный долг и максимальный темп его устранения наблюдается у рыб этого вида при крейсерских скоростях плавания, которые равнялись 77-87 см/с, или 2,77-3,13 L/с. При скоростях ниже 77 см/с кислородный долг у плывущих хариусов отсутствует,

тогда как при скоростях больше 87 см/с он резко возрастает, достигая 40-60% от общего обмена.

Таким образом, повышение определенного порога скоростей приводит к накоплению в организме рыбы недоокисленных продуктов обмена. Энергия в этом случае расходуется нерационально, и при определенных условиях может наступить истощение с последующей гибелью рыбы.

Существует и экспериментальный материал, это подтверждающий. Так, В. Стеффенс (1985), проводя опыты на карпах, обнаружил, что плавание сеголеток со скоростью около 10 см/с (длина тела в секунду) ведет к повышению обмена веществ и массовому отходу рыбы. При скорости течения 40 см/с еще может держаться в канале потока, но рост его в таких условиях невозможен.

Следует отметить, что представленные автором данные не сопровождались материалом об упитанности рыбы и условиях окружающей среды, поэтому понять, что стало причиной гибели рыбы при ее плавании в диапазоне критических скоростей, нельзя. Быть может, к этому привели и иные причины.

Но как бы там ни было, в рассмотренном описании достаточно красноречиво показана зависимость роста рыбы от скорости течения, что указывает на важность учета данного показателя.

В подтверждение этого можно привести данные, полученные в процессе изучения химического состава рыбы, мигрирующей на большие расстояния. По данным исследователей, содержание жира в теле кеты снижается с 9-11% при заходе в реку Амур до 3-4% при выходе на нерестилище, у белорыбицы в реке Волга аналогичные показатели изменяются с 21 до 2%. Сельдь шэд за время миграции в реке Коннектикут (США) теряет в массе 44-51%, у нее расходуется от 50 до 70% доступных белков и липидов.

При этом величина потерь энергии во время плавания зависит от пола рыбы и температуры окружающей среды. В энергетическом эквиваленте потери в теле рыбы при миграции могут изменяться в достаточно широких пределах. Так, на каждые 50 км пути кета, мигрирующая в реке Амур, затрачивает 25-29 ккал/кг живой массы, или на единицу времени 1,1-1,2 ккал/(кг·ч) (П.Ю. Шмидт, 1947).

На преодоление всего миграционного пути (1200 км) кета расходует до 3/4 запасов энергии.

Затраты на плавание в крейсерском режиме у рыб колеблются в пределах 2-7 ккал/(кг·ч), в то время как в покое эти затраты не превышают 0,2-1,0 ккал/(кг·ч) (Л.И. Кляшторин, 1982).

Таким образом, вполне очевидно, что, заставляя рыбу плавать со скоростями, превышающими

некоторые пороговые величины, мы тем самым расходует часть кормов впустую и вместо того чтобы получать от этого дополнительную продукцию, теряем ее в виде тепла.

Какой же должна быть оптимальная скорость плавания рыбы, которая позволила бы максимально реализовать ее генетический потенциал? В этом отношении любопытны исследования W.M. Greer et. Al (1978), судя по которым, плавание рыбы со скоростями, близкими к 1 L/c, соответствует наиболее оптимальным условиям ее роста. Это обуславливается тем, что коэффициент полезного действия аппарата рыбы оказывается максимальным при плавании рыбы в верхнем диапазоне крейсерских скоростей, составляющих 1-3 L/c.

При этом такая скорость соответствует оптимальному режиму сокращения мышц при длительном плавании, т. е. способствует оптимизации различных элементов жизнедеятельности особи.

Вместе с тем, как показывает практика, величины истинных оптимальных скоростей рыб могут быть и больше. Дело в том, что рыбы как живые организмы в ходе своей эволюции выработали достаточно разнообразные приспособительные механизмы, позволяющие им снижать затраты на передвижение в воде.

Одним из механизмов снижения затрат энергии на плавание у рыб является перемещение в составе больших групп (косяка). Это можно проиллюстрировать результатами наших исследований, проведенных на модели годовиков карпа в условиях садкового хозяйства, размещенного в сбросном канале Ириклинской ГРЭС. Для исследований были выбраны садки со скоростью течения 0,04-0,07 м/с (I и III группа) и 0,25-0,36 м/с (II и IV группа) и плотностью посадки 200 шт/м<sup>2</sup>. Кормление рыбы осуществляли из автоматических кормушек типа «Рефлекс Т-1-50». В ходе опытов было использовано два рецепта комбикормов: РГМ -8В (I и II группы) и модифицированный РГМ -8В (III и IV группы). В составе последнего 75% рыбной муки заменены на пшеницу.

Расчет затрат энергии на плавание производили исходя из затрат обмена энергии во II и IV группах и эффективности ее трансформации в ткани тела крапа I и III групп.

Как показали результаты исследований, эффективность трансформации энергии корма изменялась следующим образом.

За период опыта коэффициент конверсии валовой энергии во II группе оказался ниже уровня I на 2,2%, в IV относительно III на 2,0%. Различия по эффективности использования обменной энер-

гии достигли 4,4 и 4,2% соответственно. Что характерно, снижение продуктивного действия рецепта №2 по сравнению с РГМ-8В оказалось сопоставимо с аналогичным падением эффективности использования корма под влиянием повышения скорости водного потока. Так, если коэффициент конверсии валовой энергии корма во II группе составил 23,0% за опыт, то в III группе – 22,1%, или только на 0,9% меньше.

Расхождения по эффективности исследования обменной энергии были еще меньше – 0,1%. Коэффициент конверсии протеина во II группе был на 0,8% больше, чем в III группе.

Подводя итог анализа фактического материала, достаточно легко можно рассчитать величину расхода энергии на плавание годовиками карпа при содержании в садках с плотностью посадки 200 шт/м<sup>2</sup> и скоростью водного потока около 0,34 м/с. Для этого следует предположить, что эффективность обмена веществ в сравниваемых группах I-II, III-IV была одинакова. В этом случае верно равенство:

$$ЭП = ОЭ - \frac{100 \times ЧЭ}{K_1},$$

где ЭП – энергия, расходуемая во II (IV) группе на плавание;

ОЭ – обменная энергия, поступившая с кормом;

ЧЭ – чистая энергия отложения в теле рыбы II (IV) группы;

$K_1$  – коэффициент конверсии обменной энергии в I (III) группе;

Подставляя полученные нами данные, находим, что затраты энергии на плавание во II группе составляют за первую половину опыта 561 кДж/гол, в IV – 462 кДж/гол.

Таким образом, мы через предположение, что отложение чистой энергии во II и IV группах происходило с эффективностью, свойственной соответственно I и III, рассчитали, сколько обменной энергии пошло на плавание.

Таблица 1 Эффективность использования веществ корма и энергии в организме подопытной рыбы, %

Показатель	Группа			
	I	II	III	IV
1-4 декада опыта				
Валовая энергия	21,4	19,6	18,2	16,8
Обменная энергия	42,6	39,0	37,6	34,8
Сырой протеин	14,4	12,4	14,0	12,1
5-8 декада опыта				
Валовая энергия	27,3	25,2	24,7	22,4
Обменная энергия	54,3	50,1	51,0	46,4
Сырой протеин	17,7	17,0	14,0	13,5
За период опыта				
Валовая энергия	25,2	23,0	22,1	20,1
Обменная энергия	50,2	45,8	45,7	41,5
Сырой протеин	16,5	15,2	14,0	12,9

Выполняя аналогичные расчеты для второй половины эксперимента, можно установить, что расход энергии на преодоление течения в данном случае составил 810 кДж/гол во II и 766 кДж/гол в IV группе.

В ходе расчета затрат энергии на единицу живой массы мы установили, что в первую половину эксперимента подопытная рыба II группы расходовала на плавание 50,9 Дж/сут/г. В IV группе данный показатель составил 50,0 Дж/сут/г.

Между тем во вторую половину опыта затраты энергии на плавание оказались ниже: 32,4 Дж/сут/г во II и 37,2 Дж/сут/г в IV группе.

Данное несоответствие, по нашему мнению, не является следствием ошибки в расчетах, отнюдь. Падение уровня затрат энергии на плавание в заключительный период обуславливалось снижением температуры воды в среднем на 2,5°С относительно начала эксперимента. Зависимость величины энергозатрат на плавание от температуры воды общеизвестна.

Кроме того, крупной рыбе на перемещение единицы массы тела требуется меньше энергии, чем мелкой. Поэтому вполне закономерно, что расход энергии в период первой половины опыта оказался выше. В среднем за опыт расход энергии на плавание составил во II и IV группах около 40,7 Дж/сут/г, или 1,39 Дж/км.г. Судя по литературным данным (В.И. Турецкому, 1975, Т.В.Н. Beamish, 1978), расход энергии у рыб может изменяться от 1,3 до 2,7 Дж/км/г. Причем у быстроплавающих он минимален, у медленноплавающих данный показатель выше. В нашем случае минимальный уровень расхода энергии обуславливался целым рядом причин.

Во-первых, подопытные рыбы содержались в составе большой группы, что само по себе является энергосберегающим фактором. Отдельные особи в составе косяка рыб затрачивают значительно меньше энергии на перемещение в пространстве. Это вызвано изменением гидродинамических профилей движения рыб. Энергооправданность движения в группе может отметить любой велосипедист,двигающийся группе. Значительно легче ехать в его середине, чем в авангарде. Первый рассекает воздух и создает ведомым возможность с меньшими затратами преодолевать сопротивление. Именно поэтому маленькие рыбы лоцманы, которые в десятки, если не в сотни раз меньше акул и, следовательно, способные развивать куда меньшие скорости, никогда не отстают от этих гигантских рыб, скрываясь в мертвом пространстве возле акул.

Другим немаловажным энергосберегающим фактором являются специфические изменения в поведении рыб во время кормления. Кормящиеся рыбы сбиваются в плотную группу, настолько плотную, что отдельные особи просто лежат на спинах сверстников. Годовики со средней навеской 140-150 г отклоняют маятник из каленого металла по течению и сгибают его. Совокупность кормящейся рыбы занимает на поверхности воды площадь до 1,5 м<sup>2</sup> и имеет вытянутую форму. В этом случае в соответствии с законами физики расчет затрат энергии карпами на преодоление потока воды следует вести не для одиночных особей, а для их совокупности длиной около 1 м. Этот размер, как известно, соответствует числу Re, на несколько порядков большему, чем у отдельных рыб, следовательно, и потери энергии на передвижение также снижаются. Учитывая, что рыбы большую часть суток кормятся, вполне закономер-

но можно предположить вероятность значительного снижения энергозатратности содержания карпа в садках со сверхпороговыми скоростями течения.

Кроме того, в числе причин, способствующих снижению затрат энергии на плавание у карпа, с полной уверенностью можно рассматривать адаптацию опорно-двигательного аппарата рыб (тренированность) к большим физическим нагрузкам и соответствующие изменения в работе секреторных клеток кожи (В.В. Шулейкин, 1949; А.Г. Поддубный, Л.К. Малинин, 1988).

По нашим наблюдениям, карпы II и VI групп к концу опыта отличались от сверстников из I и III групп обильным выделением слизи при вылове.

Таким образом, вполне закономерно, что увеличение скорости течения в садках сопровождалось меньшим повышением энергозатрат у карпа, чем это имеет место на гидродинамических стендах.

**Список использованной литературы:**

1. Кляшторин Л.И. Водное дыхание рыб. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 215 с.
2. Колотилова А.И. Обмен углеводов в работающих мышцах // Руководство по физиологии труда. – М.: Медицина, 1969.
3. Павлов Д.С. Биологические основы управления поведения рыб в потоке воды. – М.: Наука, 1979. – 319 с.
4. Стеффенс В. Индустриальные методы выращивания рыбы // Пер. с нем. научн. ред. А. Канидьев. – М.: Агропроиздат, 1985. – 384 с.
5. Турецкий В.И. Экспериментальное исследование эффективности энергетических затрат при плавании рыб. Дисс. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 1975. – 173 с.
6. Шмидт П.Ю. Миграция рыб. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – 361 с.
7. Arnold G.P. Rheotropism in fishes // Biol. Revs. Cambridge Phil Soc. – 1974 – Vol 49 – №4 – p. 515-576.
8. Beamish F.W.H. Glycogen and lactic acid concentration in Atlantic cod (*Gadus morhua*) in relation to exercise // J. Fish. Res Board. Can. – 1968 – v.25 – N 5.
9. Black E.C., Glenville T., Manning, Hayashi K. Changes in levels of hemoglobin, oxygen, carbobioxide, pyruvate and lactate in venous blood of rainbow trout during and following severe muscular activity // J. Fish. Res. Bd. Can. – 1966 – v. 23 – N 6.
10. Black E.C., Manning G., Koichiro H. Changes in level of haemoglobin oxygen, CO<sub>2</sub>, pyruvate and lactate in venous blood of rainbow trout (*salmo gairdneri*) during in following severe muscular exercise // J. Fish. Res. Bd. Canada – 1966 – V. 23 – №5 – p. 783-795.
11. Greer W.M., Harlen J.F.K., Arnold G.P. The movements of place (*Pleuronectes platess L.*) tracked in the open sea // J. Coms int. Explor. Mer – 1978 – V. 38 – №1 – p. 58-86.
12. Margaria R. Lactic acid and muscle // Helv. med. acta. – 1970 – v. 35 – N 5
13. Wendt C. Liver and muscle glycogen blood lactate in winter and summer. / Re. Inst. Freshwater Res. Drottningholm – 1965 – V. 46 – p. 148-167.