

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГИИ У ARTEMIA SALINA (L.)

Н.Н. Хмелева

Энергетический принцип исследования играет ведущую роль в изучении любого звена продукционного процесса в водоемах. Первым этапом в подобного рода исследованиях является определение основных элементов баланса энергии и основных количественных закономерностей превращения вещества и энергии в течение всей жизни организмов. Для расчета баланса энергии в теле животного было предложено несколько схем [1, 5, 6, 10]. Наиболее удобной представляется схема баланса энергии, предложенная Г.Г. Винбергом [1]:

$$P = P + T + H, \quad /1/$$

где P - рацион, т.е. количество энергии, поступающее в организм с пищей; P - доля рациона, или энергии, затрачиваемая на весовой прирост животного за единицу времени; T - траты энергии на обмен; H - энергия неусвоенной пищи.

При расчете суточного баланса равенство [1] вполне удовлетворяет поставленной задаче. Для определения энергетического баланса за всю жизнь животного требуется учесть затраты энергии на репродукцию /обозначим символом P_r /. Для ракообразных в правую часть равенства должна быть включена еще одна величина, связанная с затратами энергии на линьку /обозначим через P_l /. В результате балансовое равенство приобретает следующий вид:

$$P = T + P + P_l + P_r + H. \quad /2/$$

Артемии являются обитателями сильно осолоненных водоемов и относятся к организмам первого гетеротрофного уровня.

Определение всех указанных параметров для животных, образующих в природе подобно артемиям массовые и устойчивые популяции, представляет интерес не только с точки зрения практического ис-

пользования таких видов, но и для правильного понимания основных закономерностей энергетических превращений в экосистемах.

Полевые сборы и экспериментальные исследования проводились в 1962-1964 гг. Материал получен из лиманов Черного моря. Для расчета баланса энергии предварительно производилось определение ряда исходных величин: соотношения сухого, сырого веса и длины тела рачков, калорийности и содержания жира в артемиях и их яйцах. Измеряли дыхание рачков в зависимости от веса тела и солености воды. Изучали питание, рост, плодовитость и продолжительность жизни.

Калорийность получена двумя методами: методом бихроматной окисляемости и прямым сжиганием в калориметрической бомбе [4, 7]. Содержание жира определялось микрометодом Д.М. Витюка [3]. Дыхание измерялось манометрически в аппарате Варбурга. Опыты по питанию, росту и размножению проводились при 25°C, как наиболее оптимальной температуре для развития артемий. Взвешивание малых навесок во всех случаях производилось на микроаналитических весах с чувствительностью 10^{-6} г. В ряде случаев для исследования использовалась микрокиносъемка.

Сухой вес артемий от 0,003 до 0,6 мг. Соотношение между сухим /у/ и сырым /х/ весом рачков выражается следующим уравнением линии регрессии:

$$y = 0,1083 x + 0,0016. \quad /3/$$

Величины коэффициентов в этом уравнении свидетельствуют о высоком содержании в теле рачков воды /89%/ и малом содержании сухого остатка /11%/. Для яиц артемий это соотношение оказалось иным. На различных этапах существования яиц сухой вес их составлял от 20 до 90% от сырого. Это обстоятельство приобретает особое значение при расчете биомассы и калорийности единицы сырого веса яиц. Установлено соотношение между длиной ℓ и весом тела W артемий:

$$W = 0,00103 \ell^{2,66}. \quad /4/$$

Калорийность сухого вещества довольно близка у всех групп рачков и находилась в пределах 4,3-4,8 ккал/г. Наиболее высокими запасами энергии отличаются яйца /5,2 ккал/г сухого веса/. Запасы энергии, заключенные в теле половозрелых самок могут заметно снижаться в период размножения /до 3,8 ккал/г сухого веса/. Калорийность хитина составляет около 4 ккал/г сухого веса.

Содержание жира находится в пределах 15-25%. Наибольшее количество жировых веществ эмбрионы имеют в момент вылупления /до 25% сухого веса/. Очевидно, в процессе развития эмбриона происходит частичный синтез жировых веществ из углеводов. Это предположение подтверждается данными Дютрио по изменению биохимического состава и дыхательного коэффициента яиц и эмбрионов к моменту вылупления [9].

Интенсивность дыхания Q при 25°C зависит от сухого веса артемий W :

$$Q = 0,522 W^{0,688}. \quad /5/$$

Изменение солёности воды в пределах 46-160‰ практически не отражалось на скорости дыхания рачков. Для пересчёта величин дыхания в единицы энергии использовался оксикалорийный коэффициент, равный 4,86 кал/мл O_2 . За весь период жизни продолжительностью 130 дней при 25°C на энергетический обмен одного рачка должно быть затрачено 38,5 кал.

Затраты энергии на весовой прирост определены по кривой роста, полученной экспериментально и рассчитанной по интенсивности дыхания артемий [2]:

$$W_t = 10,090 - 0,076 e^{-0,063 t / 3}. \quad /6/$$

В первые два дня жизни науплии артемий не питаются оформленной пищей. Расчёты показывают, что запасы жировых веществ полностью обеспечивают траты энергии науплиев на дыхание в течение 2-3 дней. Отмеченный весовой прирост науплиев в эти дни происходит за счёт питания растворённым органическим веществом или за счёт гидратации тканей.

Во время размножения прирост веса тела минимальный и кривая роста, на первый взгляд, сильно отличается от расчётной. Однако, если в этот период за величину прироста принять прирост тела самок с весом репродуцированных яиц и науплиев, то она в достаточной степени аппроксимируется расчётной кривой. Рост ракообразных сопровождается регулярными линьками, т.е. потерей определенного количества энергии. За весь период жизни /130 суток/ у артемий происходит 25-27 линек. Вес линичной шкурки составляет в среднем 5% от сухого веса рачка. Общий расход энергии на рост артемий 5,1 кал/экз.

Артемий в большинстве случаев размножаются партеногенетически. Средняя плодовитость самок в условиях культивирования составляет 50-60 яиц на экземпляр. В лабораторных условиях размножение продолжается в течение 3,5 месяцев. За этот срок одна самка дает 15-18 пометов, в среднем 1 помет через каждые 5-7 суток. С началом размножения происходит перераспределение ассимилированной животным энергии. Почти вся энергия усвоенной пищи идет в это время на удовлетворение потребностей энергетического обмена T и репродукцию P_r . На весовой прирост и линьку рачка затрачивается минимальная доля энергии, которая составляет всего $1/8$ часть энергетических затрат на репродукцию. Количество вещества, воспроизведенного 1 самкой за период размножения в виде яиц и науплиев, оказалось в среднем в 5-6 раз больше веса ее тела. В энергетическом выражении это составляет 16,5 кал/экз.

На основании полученных данных и равенства /2/ рассчитан общий баланс энергии у *A. salina* на отдельных этапах и за весь период жизни. Самыми экономными оказались затраты энергии на весовой прирост P и линьку P_z артемий. В процессе линьки рачки теряют почти столько же энергии, сколько заключено в их биомассе при достижении дефинитивных размеров. Расход энергии на репродукцию P_r в несколько раз выше каждого из этих параметров. Если сопоставить эти величины за равные промежутки времени, например за 30 суток да размножения с таким же периодом размножения, то во втором случае только на репродукцию затрачивается в два раза больше энергии, чем на прирост и линьку до этого, и в 8 раз больше по сравнению с энергетическими затратами на рост и линьку в данный период. Сумму энергии, затрачиваемой на весовой прирост P , линьку P_z и размножение P_r , можно принять за величину пластического обмена /обозначим символом O_p /. Из приведенных данных видно, что основная часть физиологически полезной энергии A идет на удовлетворение энергетического обмена T . Энергия ассимилированной пищи за весь период жизни при коэффициенте усвоения 0,5 составляет на 1 особь 60 кал, потребленной пищи 120 кал. Таким образом, одним рачком за период жизни было потреблено 24 мг сухого веса пищи при калорийности ее 5 кал/мг. Рассчитанная по равенству /2/ величина суточного рациона P во время размножения равнялась 0,2 мг/экз, что составляет около 40% сухого веса тела артемий. Экспериментальные определения рациона для

того же периода, проведенные радиоуглеродным и счетным методами при питании водорослями, дали значения 0,17-0,19 мг/экз в сутки, т.е. величину, очень близкую к расчетной.

Следует отметить соотношения между отдельными параметрами балансового равенства. Известно, что для количественной оценки превращения потребленной с пищей или ассимилированной энергии используют коэффициент роста первого порядка K_1 и второго порядка K_2 . Коэффициент K_1 отражает долю энергии рациона, используемую на рост:

$$K_1 = \frac{\Pi}{P} ;$$

K_2 - коэффициент использования ассимилированной энергии на рост:

$$K_2 = \frac{\Pi}{\Pi + T} .$$

Из таблицы видно, что оба коэффициента в период размножения, когда происходит минимальный прирост веса особей, снижаются соответственно до 0,6 и 1,8%, при их исходном значении в начале роста, равном 29 и 58%. Подобная тенденция была уже отмечена для ракообразных [8, 11]. Однако такое снижение коэффициентов роста наблюдается тогда, когда принимается в расчет только энергия весового прироста животных и не учитываются остальные элементы пластического обмена Π_p и Π_t . При учете их средние величины K_1 и K_2 до размножения и за период размножения оказались сходными, а численные значения их стали намного выше. Аналогичная картина наблюдается и при определении соотношения между пластическим O_{Π} и энергетическим T обменом у артемий.

Общий уровень ассимиляции энергии артемиями на различных этапах их жизни представлен на рисунке. Можно заметить, что пластический и энергетический обмен находятся почти в равном соотношении друг с другом.

Поскольку артемии являются объектом массового культивирования в промышленных масштабах, полезно знать экологическую эффективность их популяции, т.е. отношение энергетического выхода в виде продукции артемий к количеству потребленной пищи. Она составляет 10%. По данным Слободкина [12], эта величина для популяций других беспозвоночных колеблется от 5 до 15%. Таким образом, популяция артемий отличается более высокой эффективностью использо-

Т а б л и ц а

Общие затраты энергии у *Artemia salina* за весь период жизни /кал/экз/
при 25° С

Период	П	П _Э	П _Г	Т	$\frac{A}{\Pi + \Pi_{\text{Э}}} + \Pi_{\text{Г}} + \text{Т}$	Р		К _Г , %	К ₂ , %	Отношение, %						
						кал	мг сухого веса			$\frac{\Pi}{\text{Т}}$	$\frac{\Pi + \Pi_{\text{Э}} + \Pi_{\text{Г}}}{\text{Р}}$	$\frac{\Pi}{\text{Т} + \Pi}$	$\frac{\Pi + \Pi_{\text{Э}} + \Pi_{\text{Г}}}{\text{Т} + \Pi + \Pi_{\text{Э}} + \Pi_{\text{Г}}}$	$\frac{\Pi}{\text{Т}}$	$\frac{\Pi + \Pi_{\text{Э}} + \Pi_{\text{Г}}}{\text{Т}}$	$\frac{\text{Т}}{\text{Р}}$

До раз-
множе-
ния /эл-
33 су-
ток/...

2,115 0,882 - 5,412 8,41 16,82 3,36 12,57 17,82 28,10 35,66 39,00 55,8 32,1

За пери-
од раз-
множе-
ния/100
суток/...

0,600 1,522 16,346 33,048 51,52 103,03 20,61 0,58 17,92 1,78 35,84 18,10 55,8 32,0

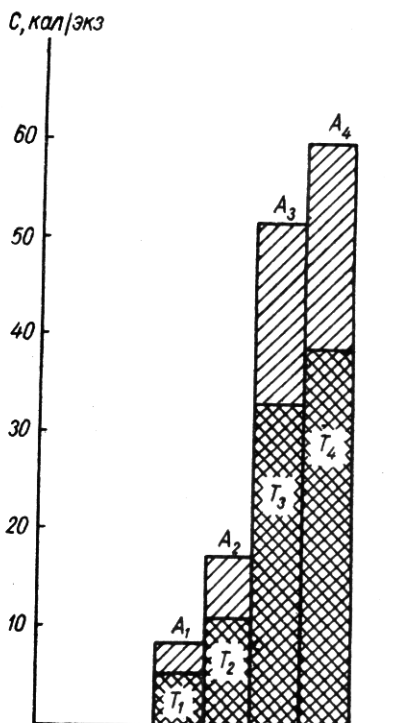
За весь
жизнь
/130-
133 дня/

2,715 2,404 16,346 38,460 59,93 119,85 23,97 2,26 17,90 6,59 35,81 7,10 55,9 32,1

вания потребленного корма. Массовое культивирование этого представителя ракообразных и изучение продукционного процесса на первом гетеротрофном уровне представляет несомненный интерес.

Общий уровень ассимиляции энергии и соотношение между пластическим и энергетическим обменом в разные периоды жизни:

$O_p = A - T$; A_1 - период до размножения /30-32 суток/; A_2 - тот же период при размножении; A_3 - период размножения /100 суток/; A_4 - все время жизни /130-132 суток/.



Л и т е р а т у р а

1. Винберг Г.Г. - Зоол. журн., 1962, 41, 11.
2. Винберг Г.Г. - Усп. совр. биол., 1966, 61, 2.
3. Витюк Д.М. - Тр. Севаст. биол. станции, 1964, 17.
4. Дроздов Б.Н. Калориметр для определения теплоты сгорания топлива. Учпедгиз, М., 1962.
5. Ивлев В.С. - Зоол. журн., 1939, 18, 2.
6. Ивлев В.С., Ивлева И.В. - Бюлл. МОИП, Отд. биол., 1948, 53/4/.
7. Сивко Г.Н. - Гидрохимические материалы. Т.30. Изд-во АН СССР, М., 1960.
8. Сушеня Л.М. - Тр. Севаст. биол. станции, 1964, 15.
9. Dutrieu J. - Archiv. de Zool. Exp. et Gen., 1960, 99, 1.

10. Brody S. - Bioenergetics and growth. N.Y., 1945.
11. Richman S. - Ecol. Monogr., 1958, 28, 3.
12. Slobodkin L. Ecol. relationship at the popul. level. Amer. Nat., 1960, 94.