

МЕТОДИКА ЗООЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 592 : 591.526

БАЛАНСОВОЕ УРАВНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Н. П. МАКАРОВА

Институт биологии южных морей Академии наук Украинской ССР (Севастополь)

В статье приводится анализ дифференциального уравнения индивидуальной продукции, составленного на основе балансового равенства: продукция = ассимиляция — траты на обмен. На 4 видах беспозвоночных показана возможность применения этого уравнения. Примеры показывают, что данное уравнение является хорошим инструментом проверки непротиворечивости экспериментальных данных по элементам баланса.

В последние годы показано, что балансовое равенство (Винберг, 1956)

$$\frac{dw}{dt} = U \cdot R - T, \quad (1)$$

где U — коэффициент усвояемости, R — рацион, T — траты на обмен, $\frac{dw}{dt}$ — скорость весового роста, следует детализировать введением параметра, отражающего прижизненно отчуждаемое органическое вещество E (в виде личиных шкурок, половых продуктов и других компонентов). При этом, если оценивается скорость весового роста, имеем

$$\frac{dw}{dt} = U \cdot R - T - E. \quad (2)$$

Можно переписать (2) в виде:

$$\frac{dw}{dt} + E = U \cdot R - T. \quad (3)$$

Теперь левая часть уравнения (3) отражает величину, которую можно назвать скоростью продукции особи (Макарова, Заика, 1971)

$$\frac{dP}{dt} = \frac{dw}{dt} + E. \quad (4)$$

В последнее время установлена зависимость между рационом R и весом животного w (Сушеня, Хмелева, 1967; Ипое, 1964; Аболмасова, 1969) вида:

$$R = a_1 w^{b_1}. \quad (5)$$

Как известно, траты на обмен связаны с весом тела уравнением

$$T = a_2 w^{b_2}. \quad (6)$$

По (3), (4), (5) и (6) имеем:

$$\frac{dP}{dt} = U \cdot a_1 w^{b_1} - a_2 w^{b_2}. \quad (7)$$

Уравнение (7) дает возможность получить кривую индивидуальной продукции особи, для чего необходимо знать еще кривую роста, т. е. $w = f(t)$.

На материалах по нескольким видам беспозвоночных покажем применимость уравнения (7). Очевидно, для проверки результатов желательно было бы иметь кривые $P(t)$, полученные экспериментально. Однако в любом случае косвенным критерием правдоподобия полученных кривых $P(t)$ может служить их расположение по отношению к кривой весового роста особи. Поскольку продукция особи включает как весовой рост, так и прижизненно отчуждаемое вещество, кривая $P(t)$ должна располагаться всегда выше кривой $w(t)$.

В модели принято допущение о постоянстве калорийности животных во времени.

Artemia salina (L.)

По данным Хмелевой (1968), кривая роста артемий имеет S-образную форму и описывается уравнением $w_t = (0,090 - 0,076 e^{-0,063t})^3$, где w_t — сухой вес в мг, t — возраст в сутках. Траты энергии на дыхание взяты с учетом температуры, температурная

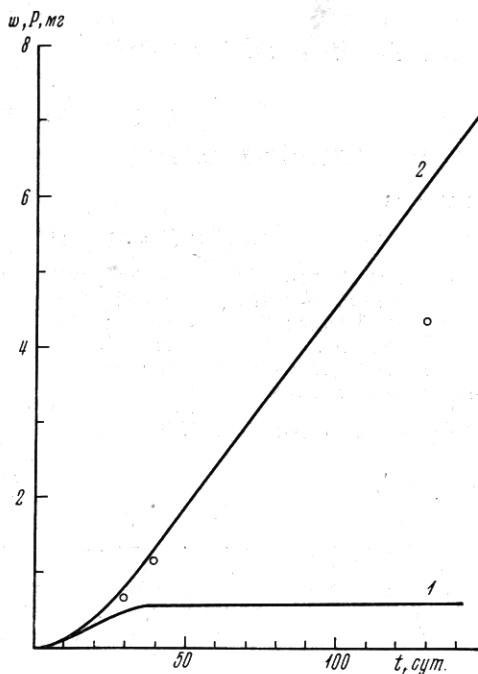


Рис. 1

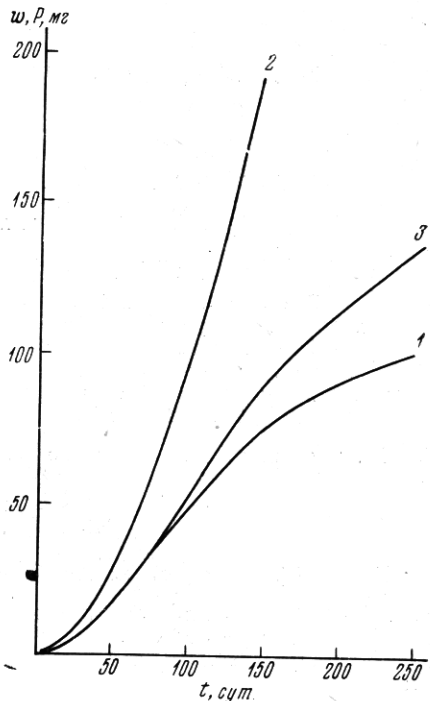


Рис. 2

Рис. 1. Кривая роста (1) и кривая индивидуальной продукции (2) артемий
Рис. 2. Кривая роста (1), теоретическая кривая индивидуальной продукции (2) и кривая продукции по экспериментальным данным орхестии (3)

поправка бралась по кривой Крога (Винберг, 1956), Траты выражаются следующей зависимостью от веса: $T = 0,522 w^{0,688}$, где w — в г сухого веса, T — в мл $O_2/ч$ для $t^\circ = 25^\circ$. Рацион артемий также является параболической функцией веса (Сушеня, Хмелева, 1967): $R = 0,063 w^{0,705}$, где w — в г сырого веса, R — в г сырого веса пищи на экземпляр за сутки при $t^\circ = 20^\circ$. Для составления уравнения индивидуальной продукции артемий необходимо привести все данные к одинаковым единицам, в данном случае мы привели их к граммам сухого веса при 25° за сутки. Чтобы перейти от значений трат, выраженных в мл O_2 , к единицам сухого веса артемий, мы воспользовались следующими данными Хмелевой (1968): в 1 г сухого веса содержится 5,17 ккал, оксикалорийный коэффициент равен 4,86 ккал на 1 мл O_2 . Отношение сухого веса к сырому у артемий равно 20%. Величины рационов, выраженные в весе пищи, приведены к размерности — г сухого веса артемий за сутки при $25^\circ C$.

Калорийность Dunaliella, которыми кормили артемий, мы приняли приблизительно равной 4 ккал на 1 г сухого веса, исходя из следующего: у Peridinea калорийность равна 3,5 ккал на 1 г сухого веса (Петипа и др., 1970), а у Dunaliella зольность, по-видимому, ниже. Отношение сухого веса Dunaliella к сырому равно 13%. Усвояемость приняли равной 80%. Получаем следующее уравнение продукции артемий

$$\frac{dP}{dt} = 0,0239w^{0,705} - 0,0118w^{0,688}. \quad (8)$$

Кривая продукции, полученная по (8) (во всех примерах уравнение продукции интегрировалось на ЭВМ «Проминь» методом Эйлера), представлена на рис. 1. Расчет производили до возраста 30 суток, поскольку артемий после этого практически не растут. Скорость продукции после 30 суток приняли постоянной, равной скорости продукции в возрасте 30 дней. Для сравнения мы рассчитали 3 значения продукции по данным Хмелевой иным путем: за 30 суток потери веса при линьках (общий вес шкурок) составляют 0,22 мг. Размножения в этом возрасте нет, следовательно, при $w = 0,45$ мг продукция $P_{30} = 0,67$ мг. За 40 суток имеем: $w = 0,45$ мг, вес шкурок — 0,27 мг, на раз-

множение (яйца или науплиусы) пошло 0,43 мг, итого $P_{40}=1,15$ мг. Тем же путем находим $P_{130}=4,33$ мг. Как видно из рис. 1, теоретическая кривая прошла выше полученных точек. Это расхождение может быть вызвано многими причинами, причем по имеющимся данным трудно решить, что точнее — кривая продукции или рассчитанные другим способом величины продукции для разных возрастов.

Orchestia bottae M.-Edw.

Экспериментальные данные Сушени (1967, 1968) и Сушени и Хмелевой (1967) послужили исходными данными для составления уравнения кривой индивидуальной продукции орхестий. Уравнение весового роста орхестий $w_t = (0,576 - 0,45 e^{-0,0143t})^4$, где w_t — сырой вес в мг, t — сутки. Зависимость трат на обмен: $T = 0,243 w^{0,74}$, где траты выражены в мл $O_2/ч$, вес в г сырого веса. Зависимость рациона от веса: $R = 0,09 w^{0,67}$, причем рацион выражен в г сырого веса пищи на экземпляр за сутки, а вес — в г сырого веса. Все единицы были приведены в г сырого веса орхестий с использованием

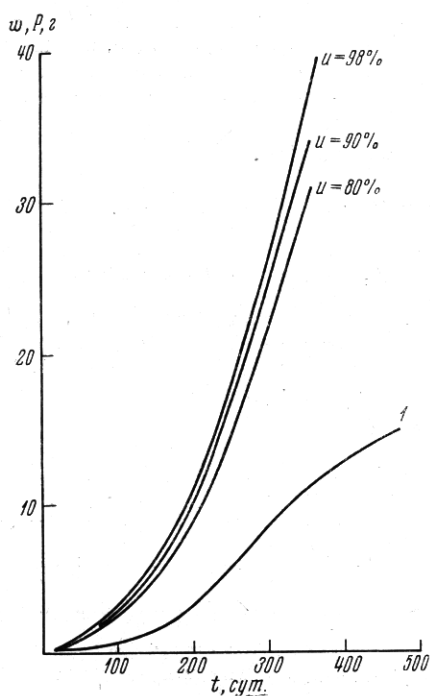


Рис. 3

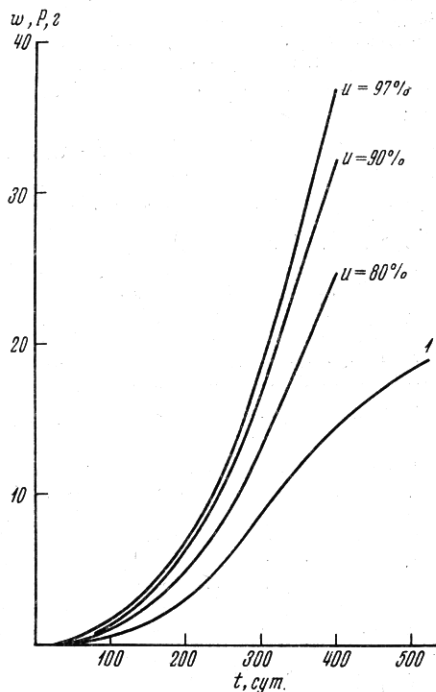


Рис. 4

Рис. 3. Кривая роста (1) и кривые индивидуальной продукции при различных коэффициентах усвояемости мраморного краба

Рис. 4. Кривая роста (1) и кривые индивидуальной продукции при различных коэффициентах усвояемости краба-водолюба

следующих данных Сушени: 1 г сырого веса орхестий содержит 1,5 ккал; 1 г сырого веса цистозир (которой кормили орхестий) содержит 1,2 ккал; усвояемость орхестий равна 40%; 1 мл O_2 эквивалентен 5,017 кал. Уравнение продукции имеет следующий вид:

$$\frac{dP}{dt} = 0,0288w^{0,67} - 0,0195w^{0,74}$$

(все единицы в г сырого веса за сутки). Полученная теоретическая кривая продукции изображена на рис. 2, 2. Кривая продукции, по данным Сушени (рис. 2, 3), проходит ниже, что естественно, так как им не были учтены прижизненные потери вещества, кроме размножения.

Pachygrapsus marmoratus (Fabr.)

Аболмасова (1971) провела исследования баланса энергии некоторых видов крабов Черного моря. По этим данным, уравнение весового роста мраморного краба $w_t = (2,14 - 1,76 e^{-0,0047t})^4$, где w_t — в г сырого веса, возраст в сутках; зависимость рациона от веса $R = 0,052 w^{0,57}$, рацион выражен в г сырого веса пищи, вес — в г сырого веса.

Зависимость трат от веса $T=0,00895 w^{0,75}$, траты в мл O_2 в ч, вес — в г сырого веса. Средняя калорийность мраморного краба — 0,79 ккал на 1 г сырого вещества. Отношение сухого веса к сырому — 18,6%. Крабов в опытах кормили мидиями. 1 г сырого веса мидий равен 0,881 ккал. Отношение сухого веса к сырому мидий — 22,1%.

Усвояемость у мраморного краба при питании мидиями, по Аболмасовой, равна 98%. Уравнение продукции в г сырого веса имеет вид:

$$\frac{dP}{dt} = U \cdot 0,058w^{0,57} - 0,00136w^{0,75}.$$

Мы рассчитали кривые продукции при разных коэффициентах усвояемости. Кривые приведены на рис. 3.

Xantho hydrophilus (Herbst.)

Кривая соматического роста краба-водолюба, по Аболмасовой (1971), имеет вид: $w_t = (2,10 - 1,69 e^{-0,004t})^{4,4}$, где w_t — сырой вес в г, t — возраст в сутках. Рацион зависит от веса следующим образом: $R = 0,03 w^{0,71}$ и выражен в г сырого веса пищи, вес — в г сырого веса крабов. Зависимость трат от веса $T = 0,085 w^{0,77}$, где T — в мл O_2 /ч, w — в г сырого веса. Калорийность краба-водолюба: 0,45 ккал на 1 г сырого веса, отношение сухого веса к сырому — 11,8%. Пища краба-водолюба та же, что и у мраморного краба. Усвояемость — 97%. Составили уравнение индивидуальной продукции в г сырого веса:

$$\frac{dP}{dt} = U \cdot 0,059w^{0,71} - 0,0227w^{0,77}.$$

Интегрирование произвели для разных значений U . Кривые продукции представлены на рис. 4.

Итак, на 4 видах ракообразных показана возможность применения балансового уравнения индивидуальной продукции. Компоненты уравнения имеют ясный биологический смысл, их можно изучать в эксперименте.

Уравнение наглядно отражает связь между разными элементами баланса и характер изменения количественных отношений с увеличением веса животного. Степень точности получаемых кривых продукции определяется надежностью исходных величин и соотношений и разного рода коэффициентов, используемых для унификации единиц.

ЛИТЕРАТУРА

- Аболмасова Г. И., 1969. О зависимости величины рациона от веса тела у высших ракообразных, Сб. «Вопросы морской биологии»: 3—4, Изд-во «Наукова думка», Киев.— 1971. Биология и баланс энергии некоторых видов крабов Черного моря, Автореф. канд. дисс., Севастополь.
- Винберг Г. Г., 1956. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб: 3—250, Изд-во Белорусск. ун-та, Минск.
- Макарова Н. П., Заика В. Е., 1971. Связь между ростом животных и количеством усвоенной пищи, Гидробиол. ж., 7, 3: 5—13.
- Сущеня Л. М., 1967. Продукция и годовой поток энергии в популяции *Orchestia bottae* M.-Edw. (Amphipoda — Talitroidea), Сб. «Структура и динамика водных сообществ и популяций»: 120—135, Киев.— 1968. Элементы энергетического баланса амфибионтного бокоплава *Orchestia bottae* M.-Edw. (Amphipoda — Talitroidea), Сб. «Биология моря», 15: 52—70, Киев.
- Сущеня Л. М., Хмелева Н. Н., 1967. Потребление пищи как функция веса тела у ракообразных, Докл. АН СССР, 176, 6: 1429—1431.
- Хмелева Н. Н., 1968. Затраты энергии на дыхание, рост и размножение у *Artemia salina* (L.), Сб. «Биология моря», 15: 71—98, Киев.
- Петипа Т. С., Павлова Е. В., Миронов Г. Н., 1970. Структура пищевых сетей, передача и использование вещества и энергии в планктонных сообществах Черного моря, Сб. «Биология моря», 19: 3—43, Изд-во «Наукова Думка», Киев.
- Яноуе М., 1964. On the amount of food, required by the Japanese spiny lobster, *Panulirus japonicus* (V. Siebold) kept in cage in relation to size and temperature, Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 30, 5.

BALANCE EQUATION OF INDIVIDUAL PRODUCTION

N. P. MAKAROVA

*Institute of Biology of South Seas, Academy of Sciences
of the Ukrainian SSR (Sebastopol)*

Summary

An analysis is given of the differential equation of individual production based on the balance equality: production-assimilation-expenses for metabolism. This equation was shown to be applicable for 4 species of invertebrates. The examples cited have shown that the equation in question is useful for testing non-discrepancy of experimental data by balance elements.