

## 单胞藻-卤虫能流实验研究\*

EXPERIMENTS ON ENERGY-FLUX FROM  
MICROALGAE TO ARTEMIA SALINA L.

周名江 颜 天 滕文法 杨纪明

Zhou Mingjiang Yan Tian Teng Wenfa Yang Jiming

(中国科学院海洋研究所, 青岛, 266071)

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, China, 266071)

物流、能流是生态系统的重要功能指标。在一个正常的生态系统中, 物质和能量沿着初级生产者—初级消费者—不同级别的次级消费者, 在食物链(网)中按不同的转换效率逐级流动, 最终构成能量或物质金字塔。所以, 在海洋中, 海洋生物生产过程实质就是物质、能量在海洋食物链(网)中流动的一种表现形式。搞清这种物流、能流过程, 尤其是第一环节初级生产者——初级消费者的物质、能量转换效率, 对于了解海洋生物生产过程, 估计海区海产资源潜力, 以及合理开发利用和保护海产资源都具有重要意义。

金藻(*Isochrysis galbana*)是一种非常理想的用于能流实验的海洋单胞藻, 这不单是因为它个体大小合适, 所含营养丰富, 氨基酸组成合理, 易于被捕食者吸收同化<sup>[1]</sup>, 而且从实验角度看也易于操作, 因为它不强烈趋光, 在培养介质中分散均匀, 不在培养器皿上附壁, 故而易定量计数。卤虫(*Artemia salina* L.)是一种生活在高盐度水域的小型低等甲壳动物, 由于它在生理、代谢、行为诸方面与其它海洋甲壳类非常类似, 所以常常因它的易于操作而被广泛用来作为小型甲壳类的代表实验生物<sup>[2,3]</sup>。本实验中, 主要选用了金藻-卤虫来研究海洋食物链第一环节, 海洋初级生产者——初级消费者的物质和能量转换情况, 同时也进行了扁藻(*Platymonas* sp.)-卤虫的物流、能流实验。

## 1 材料与方法

## 1.1 实验材料

将天津产卤虫卵在室温下(25℃)自然海水中(盐度 32‰)孵化, 孵化出的幼体移入新鲜海水, 投喂扁藻或金藻, 4 d 后用于实验。金藻和扁藻系实验室内纯种培养。

## 1.2 实验过程

摄食过程在黑暗, 通气条件下进行, 实验时间约 15 h 左右。实验容器为 5 L 玻璃方缸, 内有经过滤、消毒海水 2.5 L。实验开始前将卤虫幼体先空胃约 4 h, 然后取一定数量(4,000—6,000 尾)称取干重, 得实验起始时每尾卤虫的平均重量, 另取 4,000—6,000 尾用以实验, 实验结束时计卤虫个体数并称干重, 得实验结束时每尾卤虫的平均重量。选用对数生长期单胞藻, 计数并取一定量使摄食实验开始时的细胞数在 30—80 万个/ml 之间。实验前后取样, 准确计数, 得实验前后单胞藻数量值。单胞藻数量与干重关系由另一系列实验确定。对于金藻, 先配制一系列不同密度的藻液, 准确计数, 藻液分别经 1.2  $\mu$  滤膜过滤, 80℃下烘至恒重后称重, 经回归分析得计数与干重关系。扁藻操作中以滤纸代滤膜(扁藻细胞大), 其

\* 国家自然科学基金资助项目, 编号 38970586。

收稿日期: 1994 08 14, 修改稿收到日期: 1995 04 07。

他与金藻相同。单胞藻及卤虫能值由上海水产大学和中国科学院水生生物研究所测定。测定用的干样品在测量前再经 70℃干燥 15 h 至恒重,用美国 Aiken 公司产 Philipson Microbomb Calorimeter 测定。

1.3 结果计算

根据摄食实验中单胞藻的减少量,藻细胞数与干重、能值的关系,可计算出实验全体卤虫摄食的单细胞重量和能量( $F_w, F_e$ )。由于卤虫在实验中会有死亡,但实际操作中又无法确定何时死亡,所以假定平均死亡时间发生在实验中间,这样实验中的全体卤虫增重  $\Delta W$  按下式计算:

$$\Delta W = \Delta w \cdot n_2 + \Delta w \cdot 1/2(n_1 - n_2) \quad n_1 \text{ 为实验开始时卤虫数}$$

式中,  $\Delta w$  为实验前后平均每尾卤虫的增重,

$n_1$  为实验开始时卤虫数

$n_2$  为实验结束时卤虫数

实验中全体卤虫增加的能量  $\Delta E = \Delta W \cdot$  卤虫能值

实验结果的总物质、能量转换效率(Gross conversion efficiency)分别以下列公式表示:

$$\text{总物质转换效率}(k_w) = \frac{\text{卤虫干重增加量}(\Delta W)}{\text{卤虫摄食的单胞藻干重}(F_w)} \times 100\%$$

$$\text{总能量转换效率}(k_e) = \frac{\text{卤虫能量的增加量}(\Delta E)}{\text{卤虫摄食单胞藻的能量}(F_e)} \times 100\%$$

2 结果

2.1 单胞藻数量与干重的关系

由实验得到的二条回归曲线方程分别为

$$\text{金藻} \quad Y = 2.114 \times 10^{-2} X + 1.367 \times 10^{-2}$$

$$r = 0.9744$$

$$\text{扁藻} \quad Y = 1.085 \times 10^{-1} X - 5.01 \times 10^{-1}$$

$$r = 0.9878$$

式中  $Y$  为藻干重( $\times 10^7$  pg),  $X$  为藻细胞数( $\times 10^4$  cell),由此可估算每个金藻重量 21.1 pg/个,扁藻为 109 pg/个。

2.2 单胞藻与卤虫的能值

单胞藻、卤虫的能值测定见表 1。

2.3 单胞藻到卤虫的总物质和能量转换效率(Gross conversion efficiency  $K_w, K_e$ )

金藻、扁藻到卤虫的总转换效率综合于表 2

表 1 单胞藻、卤虫能值测定值

Table 1 Calorific content of microalgae and Artemia

| 生 物<br>Organism              | 能值(J · mg <sup>-1</sup> D · W)<br>Calorific conten |     |
|------------------------------|----------------------------------------------------|-----|
| 金藻 <i>Isochrysis galbana</i> | 18.6 ± 0.42 <sup>1)</sup>                          | n=3 |
| 扁藻 <i>Platymonas</i> sp.     | 17.02 ± 0.11 <sup>2)</sup>                         | n=2 |
| 卤虫 <i>Artemia salina</i> L.  | 20.54 ± 0.31 <sup>2)</sup>                         | n=2 |

1) 中国科学院水生生物研究所。

2) 上海水产大学测定。

表 2 单胞藻到卤虫的总转换效率

Table 2 Gross conversion efficiency from microalgae to Artemia( $K_w, K_e$ )

| 试 验<br>时 间<br>Date | 卤虫摄食单胞藻重量<br>Weight of microalgae intaken<br>by Artemia ( $F_w$ , mg) | 卤虫增重<br>Weight increment of<br>Artemia( $\Delta W$ , mg) | 总物质转换效率<br>Gross conversion<br>efficiency in dry<br>weight ( $K_w$ , %) | 总能量转换效率<br>Gross conversion<br>efficiency in energy<br>( $K_e$ , %) |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1991 07 31         | 9.72 (金藻)                                                             | 1.45                                                     | 14.9                                                                    | 16.42                                                               |
| 1991 08 22         | 24.30 (金藻)                                                            | 5.70                                                     | 23.5                                                                    | 25.9                                                                |
| 1991 08 28         | 16.10 (金藻)                                                            | 4.54                                                     | 28.2                                                                    | 31.0                                                                |
| 1991 08 29         | 20.60 (金藻)                                                            | 1.15                                                     | 5.6                                                                     | 6.2                                                                 |
| 1991 09 24         | 23.40 (扁藻)                                                            | 3.91                                                     | 16.6                                                                    | 20.0                                                                |

### 3 讨论

3.1 总转换效率(Gross conversion efficiency)<sup>[4]</sup>有时也称作总生长效率(Gross growth efficiency)<sup>[5,6]</sup>或生态生长效率(Ecological growth efficiency)<sup>[7]</sup>,但其含义都是高营养级生物增重(增能)与所摄食的低营养级生物的重量(能量)之比(%).总体上说,这个比值约在10%—40%之间<sup>[5]</sup>,但不同情况下有很大差别,如Xie和Sun测得一种鱼的值在<10%—50%之间<sup>[4]</sup>,杨测得此值在8.0%—24.5%<sup>[7]</sup>,Harms综合各种浮游动物的值在<10%—76%之间<sup>[8]</sup>,Parsons<sup>[6]</sup>引用的3个卤虫能量转换效率分别为18.5、13.0和9.0%.本实验测得卤虫对金藻的 $K_w=18.1\%$ ,  $K_e=19.9\%$ ,卤虫对扁藻的 $K_w=16.0\%$ ,  $K_e=19.3\%$ ,与各作者结果相符。

3.2 由于卤虫在生命史中会不断进行蜕皮,从而丢失一部分摄取的能量(物质),根据Harms<sup>[8]</sup>对一种蔓足类 *Elminius modestus* 的研究,其每次蜕皮丢失的能量约占总能量的<1/10,我们实验中卤虫可能也会进行一次蜕皮,假定一次蜕皮也丢失约<1/10能量,那末,如加上这一部分的能量(物质),我们实验得到的总转换效率会相应增加1/10左右。

3.3 本文得到的金藻能值18.6 J/mg,以及金藻重量21.1 pg/cell(见结果1.2)可以计算得出每个金藻能值为0.39  $\mu$ J/cell.按金藻大小为3.5—5.0  $\mu$ 计算,它的体积 $V$ 约为22.4—65  $\mu^3$ ,据Parsons<sup>[6]</sup>所引公式 $\log C=0.866 \log V-0.460$ 计算,相当于每个细胞含5.1—12 pgc/cell.依Винберг<sup>[9]</sup>提供的1 mgC $\approx$ 3.3 mgO<sub>2</sub>, 1 mgO<sub>2</sub> $\approx$ 3.5 cal,可得每个金藻能值为0.25—0.58  $\mu$ J/cell,本文的实验测值在这个范围内。实测的卤虫能值20.54 J/mg与文献报道19.94 J/mg<sup>[3]</sup>很一致。

3.4 由表2可见,本实验结果不够精确。数据波动较大的原因有以下几方面:一是实验结果计算中卤虫摄取的单胞藻量是以实验水体中单胞藻量的减少得出的,这虽然从理论上讲是行得通的,但实际上单胞藻量的减少可能不仅是被卤虫摄取了,而且还包括了其他原因,如藻沉降、吸附引起的损失以及取样和计数误差等,二是卤虫重量增加, $\Delta W$ 计算中假定(实验中死亡卤虫)平均死亡时间发生在实验中间,但实际上很可能是发生在接近开始或结束时,这也会对结果带来误差,三是尽管在实验中尽量控制实验条件一致,使得实验开始时的卤虫日龄控制在4 d左右。但由于卤虫孵化的不一致,同样日龄的个体大小不可能完全一致,这也会给实验带来误差。凡此种使得数据波动较大,结果不够精确,有待于今后在进一步实验时改进。

### 参 考 文 献

- 1 陈椒芬,潘永尧.等鞭藻的生长及其主要营养成分的研究. 海洋与湖沼, 1987, 18(1): 55—63
- 2 Betz J M and Blogoslawski W J. Toxicity of *Gonyaulax tatemans* var. *excavata* cells to the brine shrimp. *Artemia salina* L., *J. of Pharmaceutical science*, 1982, 71(4): 463—465
- 3 Personne G et al. *The brine shrimp Artemia*. Vol. 3 Ecology, culturing, use in aquaculture. Universa Press, Wetteren, Belgium, 1980, 456
- 4 Xie Xiao-Jun and Sun Ruyung. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen): growth rate as a function of ration level, body weight, and temperature. *J. of Fish Biology*, 1992, 40: 719—730
- 5 Parsons T R and Takahashi M. *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon Press, 1977, 13—143
- 6 Omori M and Ikeda T. *Methods in Marine Zooplankton Ecology*, John Wiley & Sons, New York, 1984
- 7 杨纪明,郭如新.石鲮和皱唇鲨生态生长效率的研究. 水产学报, 1987, 9(3): 251—253
- 8 *Pharmaceutical Sciences*, 1982, 71(4): 463—465 Harms J. Energy budget for the larval development of *Elminius modestus* (Crustacea: Cirripedia). *Helgolander Meeresunters*, 1987, 41: 45—67
- 9 Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. Минск. 1960