

自然海水中浮游植物生物量和叶绿素的比值*

THE RATIO OF THE PHYTOPLANKTON CARBON AND CHLOROPHYLL IN THE SEA

张武昌 张 芳 王 克

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

自从 Nelsen 在 1957 年提出¹⁴C 法测定海洋中的初级生产力以后, 对各个海区的光合作用和初级生产力有了较好的了解。但是还没有直接测定浮游植物生物量(C)的方法, 多数研究是通过测定叶绿素浓度(Chl)和记数浮游植物细胞来估计浮游植物生物量。

了解浮游植物生物量具有重要的生态学意义。(1)目前, 对海洋中浮游植物的生长率(k)还有很多争议, 在相同的海区得到的结果相差很多倍。这些差异无疑反映了浮游植物生长率的时、空变化, 但是也有一些差异是因为缺乏确切地测定浮游植物生长率的方法造成的。如果知道了 C, k 就可以通过下列公式求出: $dC/dt = Ck$ 。(2)海洋食物链的生态效率(如摄食率, 同化率等)通常是指碳的转化效率。

由于叶绿素是最容易获得的浮游植物的参数, 所以人们一直希望通过一个转换系数将叶绿素浓度转化为浮游植物生物量, 这个系数就是海洋生态学常用的 C: Chl。1952 年, Gillbricht 估计硅藻的 C: Chl 比值是 4, 甲藻的是 12。尽管这个估计大大低于现代的估计值, 但是, 这是首次提出 C: Chl 这个概念。本文简要介绍确定这个系数的方法及其影响因素。

1 研究方法

1.1 方法 1

在 1960 年, Strickland 将 C: Chl 的比值称为 F。自然海水中 F 是通过化学方法测定海水中的颗粒有机碳(POC)和叶绿素浓度来估计的。对同一水样的 POC 和叶绿素浓度进行线性回归, 直线的斜率即是 F。在 y 轴的截距就是水样中平均的浮游动物和沉积物质中的碳。这种方法需要采集大量的水样, 而且往往要采集真光层中各个层次的样品。尽管有大量的数据进行回归, 但是得出的 F 值和沉积物的值都有很大的变化范围。另外, Lorenzen 1968 年指出, 这种方法适用于来源相同(有相同历史)的浮游植物。在实验室培养的浮游植物样品中, 浮游动物和沉积物的碳接近于零。因此, 可以直接由碳和叶绿素的比值来确定, 而且只要测定少数几个平行样就可以了。

1.2 方法 2

为了排除沉积物对结果的影响, 有的作者直接用显微镜观察记数浮游植物, 将其换算为生物量, 来计算 C: Chl。这种方法也存在相当的误差, 例如, 记数浮游植物需要固定的样品体积较小, 计算细胞碳含量的公式也不尽相同, 大的细

胞数量很少, 但它一旦出现在样品中就会造成很大的数据的分散。按照 Banse 1977 年的综述, 用这种方法得出的 C: Chl 的值比方法 1 得出的结果要低。

1.3 方法 3

这种方法是在研究初级生产力的过程中引伸出来的。处于指数生长期的浮游植物, 其细胞物质的合成与生物量有关:

$$dP/dt = Pk$$

其中 dP/dt 是细胞合成的速率, P 是细胞物质的数量, k 是生长率。如果测出 dP/dt 和 k, 就能计算出 P。上述方程的积分形式为 $k = 1/t \ln((P_0 + \Delta P)/P_0)$ 。

P_0 是最初的细胞物质。 ΔP 是在时间 t 内新合成的细胞物质, P_0 的解是

$$P_0 = \Delta P / (\exp(kt) - 1)$$

将海水水样培养 24 h (目的是避开浮游植物生长的周日变化), ΔP 是在培养期间浮游植物细胞固定的碳。将上述水样培养两个 24 h

* 国家自然科学基金资助项目
49790010 号; 国家重点基础研究专项经费资助 G19990437 号。
收稿日期: 2000-01-09;
修回日期: 2000-03-05

周期, 生长率 k 可以用下列公式求出:

$$k = (1/t) \ln((\Delta P_2 - \Delta P_1) / \Delta P_1)$$

ΔP_2 是 48 h 后总的固定量, $\Delta P_2 - \Delta P_1$ 是第 2 天的固定量。

为了使培养的水样中浮游植物处于指数生长期, 往往向水样中添加营养盐, 但是, 混合层中的营养盐可能很低, 所以这种方法的一个假设是培养过程中浮游植物的 C: Chl 值与现场的值相同。

ΔP 可以用 ^{14}C 标记法来求得, 也可以用浮游植物体积的变化来计算。Cushing 和 Nicholson 与 Sheldon 和 Parsons 分别在 1966 年和 1967 年用上述方法测量 C: Chl。培养海水样品, 使浮游植物生长, 假设在培养过程中浮游植物的生长率是恒定的, 沉积物的体积不变, 浮游植物单位体积含碳量不变。在 20 世纪 60 年代, 浮游植物细胞含碳量和细胞体积之间的关系已有深入的研究。所以, 利用上述原理, 可以用浮游植物的体积的变化来测定原来水样中浮游植物的总体积和浮游植物的生长率 k 。浮游植物的体积可以用库尔特计数器来测定。用体积表示生物量的优点是操作简便。但是由于任何一种固定剂都会造成浮游植物体积的收缩, 所以, 最好测定没有固定的或刚固

定不久的水样。

2 影响 C: Chl 的因素

对 C: Chl 的测定集中在 20 世纪 60 ~ 70 年代, 根据许多作者的工作, 大部分 C: Chl 值处于 10 ~ 150 之间。影响这个比值的因素很多, 简介如下。

不同类群的浮游植物的 C: Chl 值是有差异的。Parsons 等人测定了 11 种海洋浮游植物的 C: Chl 值, 其中, Chlorophyceae: 19 ~ 32; Chrysophyceae: 61 ~ 97; Bacillariophyceae: 26 ~ 69; Dinophyceae: 48 ~ 62; Myxophyceae: 45。Chan 1980 年测定了硅藻和甲藻的 C: Chl 值, 硅藻为 32.9 ~ 35.2, 甲藻为 92.6 ~ 120。虽然这些作者测定的只是各个类群中的少数几个种类, 但从这些数据能基本看出类群之间存在的差异。Lundgaard 和 Olesen 1997 年在一次硅藻水华 (春季) 中测得 C: Chl 为 29^[2], 而在甲藻水华 (夏末) 时这个比值为 93。

单胞藻培养液中的 C: Chl 值随着培养的时间有一定的变化。Steele 和 Baird 测定了两种藻类的 C: Chl 值在 12 d 内的变化, 发现在培养开始后的前 3 d, C: Chl 值是下降的, 随后就一直上升。Welschmeyer 和 Lorenzen 于 1984 年在现场的培养中发现, C: Chl 值在培养一段时间以后增加了。

光线强度也是影响 C: Chl 值的一个因素, Lorenzen 于 1968 年在野外的调查中, 发现随着水深增加, 光线减弱, C: Chl 值也在减小。Welschmeyer 和 Lorenzen 1984 年也发现了这种情况。

浮游植物的营养状况也影响 C: Chl。1960 年, Strickland 报道营养盐充足时, 浮游植物的 C: Chl 值在 30 左右, 光强太大或营养不良时, C: Chl 有所增加。Eppeley 在 1972 年的研究也证实了这一观点。

影响 C: Chl 的环境因子很多, 人们一直希望能通过测定容易获得的环境因子 (如光, 营养盐浓度和温度) 来选择一个较为合适的 C: Chl 值, 甚至建立了一些 C: Chl 随环境因子变化的模型^[1], 但是迄今为止这种努力还没有成功。Strickland 早在 1960 年就指出, 通过上述方法来选择 C: Chl 值, 误差范围为 30 % ~ 300 %。

参考文献

- 1 Geider R. J., McIntyre, H. L. and Kana, T. M. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1997, 148: 187 ~ 200
- 2 Lundgaard C. and Olesen. *Limnol. Oceanogr.*, 1997, 42: 1 001 ~ 1 005

(本文编辑: 张培新)