# 台湾海峡南部夏季微型浮游动物对不同色素类群浮游植物的摄食压力

曾祥波[1,2], 黄邦钦[2]

(1. 集美大学 水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 厦门大学 近海海洋环境科学福建省海陆界面生态环境重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要: 2005 年 7 月在台湾海峡南部 4 个站位应用“稀释法”结合高效液相色谱(HPLC)色素分析技术研究了不同色素类群浮游植物的生长率及微型浮游动物对其的摄食死亡率。结果表明, 不同色素类群浮游植物的生长率($k$)和摄食死亡率($g$)分别为 0.52 ~ 1.34 $d^{-1}$ 和 0.25 ~ 1.10 $d^{-1}$, 微型浮游动物对不同色素类群浮游植物的现存量和初级生产力的摄食压力分别为 22% ~ 66%和 40% ~ 151%。通过比较不同类群浮游植物的 $g/k$ 值, 发现颗粒较大的浮游植物(硅藻和甲藻)的净生长率要大于那些微型藻类(蓝细菌、隐藻和定鞭金藻等)的净生长率, 说明本次研究中微型藻类更易受到微型浮游动物的摄食控制。

关键词: 微型浮游动物; 浮游植物; 色素类群; 摄食压力; 台湾海峡

中图分类号: Q958.885.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)08-0028-07

微型浮游动物(Microzooplankton)是指体长小于 200 μm 浮游动物, 包括纤毛虫、鞭毛虫、异养甲藻以及桡足类无节幼体等小型后生动物等多种生物类群[1], 微型浮游动物在细菌、微型浮游生物和大型浮游动物之间起着重要的营养连接作用[2]。微型浮游动物对浮游植物的摄食率和浮游植物的生长率是海洋浮游生态学研究的重要参数, 目前已在世界许多海区用稀释培养的方法研究了微型浮游动物对浮游植物的摄食压力[3]。微型浮游动物的摄食不仅控制着浮游植物的粒级及群落结构[4-5], 而且, 在营养盐的再生和循环中亦发挥着重要的作用[6-7]。

在稀释培养的研究中, 通常以叶绿素 a 作为浮游植物的指标, 反映的是微型浮游动物对浮游植物群落整体的摄食情况, 稀释法同高效液相色谱(HPLC)特征色素分析技术相结合, 就可提供不同类群浮游植物的生长率和摄食死亡率的信息。这方面的研究国外已有一些报道[8-10], 而国内的研究不多, 仅见于对厦门海域的研究[11]。在台湾海峡 2005 年 7 月的航次中, 作者运用稀释法, 结合 HPLC 特征色素分析, 对台湾海峡南部微型浮游动物对不同类群浮游植物的摄食进行了初步的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验站位及实验方法

于 2005 年 7 月 6~14 日, 利用“延平 2 号”科学考察船, 在台湾海峡南部 4 个站位, 采取表层水, 进行了稀释培养实验, 分别为沿岸区的 A1、B1 站和 C3 站, 离岸区的 B9 站(图 1)。A1 站处于沿岸上升流的中心区域, 主要为低温高盐水所控制($T$: 23.0℃, $S$: 34.0), 而 B9 站主要受高温高盐的外海水控制($T$: 29.2℃, $S$: 33.5), C3 站表层主要为冲淡水所控制, 具有高温低盐的特征($T$: 29.2℃, $S$: 27.5), B1 站进行了 2 次培养实验, 表层也受到了冲淡水的影

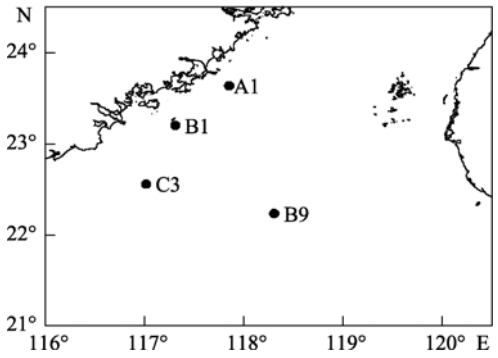


图 1 稀释培养实验站位图

Fig. 1 Location of the stations where the dilution experiments were conducted

收稿日期: 2011-12-25; 修回日期: 2012-04-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40331004, 40730846)

作者简介: 曾祥波(1975-), 男, 博士, 研究方向: 微型浮游生物生态学, E-mail: qbzeng@jmu.edu.cn; 黄邦钦, 通信作者, E-mail: bqhuang@xmu.edu.cn

响(*T*: 27.0~27.5℃, *S*: 30.0~31.0)。进行稀释培养实验时, 同时用酸性 Lugol's 液固定现场水样 1 L, 终浓度为 2%, 用作浮游生物的种类组成分析。

### 1.2 稀释培养实验

稀释培养实验按 Landry 和 Hassett [12]的方法执行。用 200 μm 筛绢将海水预过滤, 盛于 40 L 的塑料大桶中, 用装有 Whatman GF/ F 滤膜(Ø 47 mm)的滤器获得过滤海水。将 200 μm 筛绢过滤过的海水与过滤海水按 1 : 0, 3 : 1, 1 : 1 和 1 : 3 的比例混合于 12 L 的塑料桶中, 将此混合水样分装于 3.8 L 的聚碳酸酯培养瓶中, 不留气泡, 每个比例设 2 个平行样。将培养瓶置于甲板上的循环水槽中培养 24 h。培养前, 过滤双份 3～4 L 200 μm 预过滤海水于 GF/F 滤膜(Ø 47 mm)上, 用来测定光合色素培养前的初始浓度, 其他稀释比例光合色素的初始浓度根据其稀释比例来计算。培养后, 每瓶过滤水样 3～3.8 L 于 GF/F 滤膜(Ø 47 mm)上, 滤膜对折, 置于铝泊袋中, 液氮保存。

### 1.3 色素分析

先将 GF/F 滤膜(Ø 47 mm)夹于滤纸中解冻, 吸去多余水分, 剪成几毫米宽的碎条, 放入外包有黑色胶布的 5 mL 离心管中, 立即加入冷藏的二甲基甲酰胺(DMF)试剂 3 mL 于－20℃下萃取 1 h 后, 上下颠倒充分混合后离心(6 000 r/min, 5 min, －4℃), 用 13 mm 针筒过滤器(millipore)滤过 GF/F 滤膜, 收集滤液于 2 mL 的棕色色谱瓶中, 接着吸取 1 mL 澄清滤液与 1 mol/L 醋酸胺以 1 : 1 的比例混合于 2 mL 的棕色色谱瓶中, 作为进样样品。整个过程均在低光照强度、低温条件下进行, 以减少光合色素的降解。色素分析系统为 Agilent 1100 Series 液相色谱工作站, 色谱柱为 Eclipse XDB C8 柱(Agilent, Germany)。通过二极管阵列检测器(DAD)来检测洗出峰, 测量 440 nm 处的吸收值, 记录 350～700 nm 的吸收光谱以便于定性分析。每个样品进样 200 μL, 流动相 A 为 100%甲醇与 1 mol/L 醋酸胺缓冲液的混合液(4 : 1), 流动相 B 为 100%甲醇。色素的洗脱、鉴定与定量根据文献[11]进行。

在本研究中, 岩藻黄素(fucoxanthin, fuco)、多甲藻素(peridinin, peri)、叶绿素 b (chlorophyII b, chlb)、19′-丁酰基氧化岩藻黄素(19'-hexanoyloxyfucoxanthin, 19′-hex)、玉米黄素(zeaxanthin, zea)、别藻黄素(alloxanthin, allo)分别为硅藻、甲藻、绿藻、定鞭金藻、蓝细菌和隐藻的特征色素, 二乙烯基叶绿素 a (divinyl chlorophyII a, DV-chla)则为原绿球藻的特征色素[9]。括号中分别为色素名称和其缩写。

### 1.4 浮游植物和微型浮游动物的鉴定与计数

将酸性 Lugol's 液固定的水样置于阴凉处静置沉降 48 h 以上, 用底端附有 10 μm 的筛绢的吸管虹吸去除上清液, 逐步浓缩至 5～10 mL, 吸取 0.5～1 mL, 分批置于记数框中, 倒置显微镜下 100 倍及以上, 进行微型浮游动物和浮游植物种类的鉴定与计数。

### 1.5 稀释法原理及计算

稀释法最早由 Landry 等 [12]提出。假设海水中浮游植物的生长率为 $k$, 微型浮游动物的摄食率为 $g$, 浮游植物处于指数生长期, 培养前的浓度为 $P_0$, 培养后的浓度为 $P_t$, 即有 $P_t=P_0e^{(k-g)t}$。将过滤海水与现场海水按一定的比例混合, 稀释度 $d$ 为海水体积与混合后总体积的比值。混合海水中, 浮游植物的增长率 $k$ 不变, 浮游动物的摄食率却因动物数量的减少而按比例降低, 变为 $d\times g$。培养时间 $t$ 以后, $P_t=P_0e^{(k-dg)t}$。所以, 培养不同稀释度的海水, 检测培养前和培养后浮游植物的浓度 $P_t$ 和 $P_0$, $k$ 和 $g$ 可以通过线性回归方程获得, 其中截距为浮游植物的生长率($k$, $d^{-1}$), 斜率为微型浮游动物的摄食率($g$, $d^{-1}$)。当存在“饱和”摄食的情况时, 用“三段法”来估算生长率和摄食率[13]。同理, 根据培养前后浮游植物各光合色素类群的浓度, 计算出不同色素类群浮游植物的生长率和微型浮游动物对其的摄食率。微型浮游动物对浮游植物各光合色素类群现存量及初级生产力的摄食压力(分别用 $P_i$ 和 $P_p$ 表示), 用下列公式计算[14]:

$$P_i=1-e^{-g\,t}\times 100\%$$

$$P_p=(e^{kt}-e^{(k-g)t})\,/\,(e^{kt}-1)\times 100\%$$

## 2 结果

### 2.1 浮游植物和微型浮游动物的组成

镜检结果显示, A1、C3 和 B9 站浮游植物主要由尖刺拟菱形藻(*Pseudo-nitzschia pungens*)和原甲藻(*Prorocentrum* sp.)所构成, 但 B9 站总丰度较低, 仅为 3 200 个/L。7 月 6 日, B1 站浮游植物略有增殖, 丰度为 $2.4\times10^4$ 个/L, 尖刺拟菱形藻占绝对优势。

微型浮游动物总丰度为 244～5275 个/L, A1、B1 站的丰度要明显高于 B9 和 C3 站(表 1)。微型浮游动物主要由无壳纤毛虫所构成, 各站 40 μm 以下

的无壳纤毛虫以急游虫(*Strombidium* spp.)为主，而 40 μm 以上的无壳纤毛虫则以曳尾虫(*Tontonia* spp.)为优势类群。除此之外，A1 站异养甲藻螺旋环沟藻(*Gyrodinium spirale*)丰度较高，达 1 738 个/L。砂壳纤毛虫的丰度各站均很低，0～38 个/L，桡足类无节幼体为 20～310 个/L, A1 和 B1 站较多(表 1)。

## 2.2 培养前后特征色素类群的变动

据 HPLC 特征色素分析的结果显示，各站浮游植物的群落组成存在着一定的差异。A1 站主要由硅藻、绿藻和甲藻构成(图 2a), B1 站主要由硅藻所构成，所占浓度比例可高达 80%以上(图 2b,图 2c)，在这两个站位，其他藻类如蓝细菌、隐藻和定鞭金藻所占的

表 1　2005 年 7 月稀释实验站位微型浮游动物各类群的丰度

**Tab. 1　Abundance of each microzooplankton group at dilution experiment stations in July 2005**　(个/L)

| 站位 | 日期 (月-日) | 异养甲藻 (螺旋环沟藻) | 无节幼体 | 砂壳纤毛虫 | 无壳纤毛虫 (<40μm) | 无壳纤毛虫 (>40μm) | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 07-14 | 1738 | 213 | 0 | 2325 | 1000 | 5275 |
| B1 | 07-06 | 0 | 310 | 10 | 80 | 150 | 550 |
| B1 | 07-12 | 80 | 120 | 20 | 910 | 80 | 1210 |
| B9 | 07-11 | 20 | 20 | 10 | 130 | 80 | 260 |
| C3 | 07-12 | 0 | 44 | 38 | 138 | 25 | 244 |

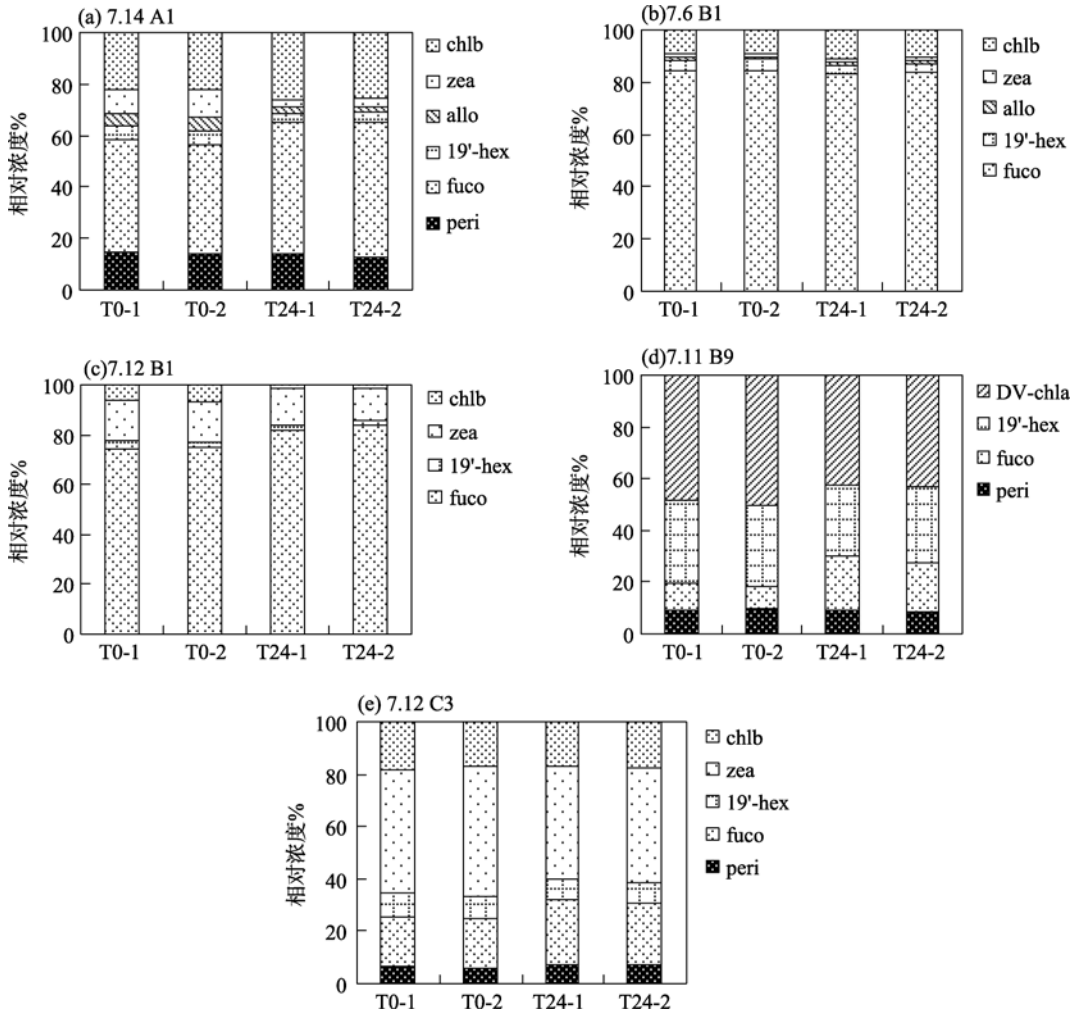


图 2　各实验未稀释培养瓶培养前(T0)和培养后(T24)特征色素的相对浓度

Fig. 2　The relative abundance of the chemotaxonmic pigments at the beginning and end of the incubation (undiluted treatments) for each experiment

比例均较小；B9 站则以原绿球藻和定鞭金藻为主，其次为硅藻和甲藻(图 2d), C3 站则以蓝细菌为主，其次为硅藻和绿藻(图 2e)。各站所检出的特征光合色素类群在培养前和培养后的相对浓度，除了代表硅藻的特征色素 fuco 在培养后的比例多略有增加外，代表蓝细菌、隐藻和定鞭金藻的特征色素在培养后的比例多略有降低(图 2)。

### 2.3 不同色素类群浮游植物的生长率和摄食死亡率

在稀释法原理中，在培养期间没有营养盐的限制是其重要的假设之一。在本研究中，没有添加营养盐，如果存在着营养盐的限制，稀释度低(过滤海水所占比例低)的几瓶首先受到影响，其实际生长率会位于回归直线的下方。除 B9 站的 peri、19'-hex 和 fuco 存在这种现象之外, B9 站的 DV-chla 和其他站位的结果并没有观察到这种现象。C3 站多数类群的浮游植物存在“饱和”摄食现象，其结果用“三段法”来进行校正。7 月 12 日 B1 站的 19'-hex 和 C3 站的 chlb 因不满足显著的回归分析而不能决定其生长率和摄食死亡率。所得的 chla 和其他特征色素的生长率和摄食死亡率的结果分见表 2 和表 3。

浮游植物群体总的生长率为 0.74～1.37 $d^{-1}$，微型浮游动物对其的摄食死亡率为 0.42～1.05 $d^{-1}$，微型浮游动物对浮游植物现存量和初级生产力的摄食压力分别为 34%～65%和 49%～93%(表 2)。各站不同特征色素类群的生长率和摄食死亡率分别为 0.52～1.34 $d^{-1}$ 和 0.25～1.10 $d^{-1}$，微型浮游动物对各特征色素类群的现存量和初级生产力的摄食压力分别为 22%～66%和 40%～151%(表 3)。

## 3 讨论

### 3.1 稀释培养实验条件对结果的影响

稀释法成立的假设条件之一，就是培养过程中没有营养盐的限制。由于本课题航次，主要研究台湾海峡浮游植物对海洋环境年际变动的响应，虽然现场海水营养盐浓度较低，为了尽可能不改变现场的实际情况，所以没有添加营养盐。而且，环境中营养盐含量低，并不一定意味着浮游植物的生长就处于营养盐的限制之下，因为浮游动物对营养盐的再生作用可提供浮游植物生长所需要的大量的营养盐[15]，而且，添加营养盐，可能会对其中的一些寡毛类纤毛虫造成一定的损伤而死亡[16]。从培养结果来看，沿岸区的 A1、B1 和 C3 站培养过程中并不存在严格的营养盐限制。B9 站处于大陆架外缘区，属于贫营养海域，硅藻和甲藻，定鞭金藻在低稀释度的几个培养瓶中净生长率逐渐降低，这可能也同其在低稀释度的培养瓶中，其丰度太低导致微型浮游动物对其停止摄食，抑制了营养盐的再生而不能满足其生长有关。原绿球藻由于个体微小，有其独特的适应贫营养环境的机制[17]，因此，其得到了较好的稀释培养实验结果，生长率和摄食死亡率分别为 0.71 $d^{-1}$ 和 0.37 $d^{-1}$(图 3)。因此，作者的实验除了 B9 站存在营养盐限制外，其他站位的结果满足稀释法的条件假设，结果均是可靠的。

稀释法结合特征色素来评价浮游植物不同类群的生长率和摄食死亡率，还需增加一些额外的假设，比如，细胞色素含量的变化不受培养期间光照条件的影响；浮游植物被摄食后，色素应迅速降解、转化或以溶解物的形式排泄出去。尽管存在一些影响结果的因素，利用特征色素来估计不同浮游植物类群的生长率和死亡率仍是一种非常有用的途径和方法[18]。Strom 等[19]通过对 6 种原生动物的研究发现，在低食物浓度时，类胡罗卜素和叶绿素均可以完全被降解，与其所摄食的色素类型和藻类种类无关。作者的实验由于是现场实验，并没有改变其光照和温度环境，也经历了一个完整的光周期，同时，叶绿素 a 浓度最高的 B1 站，也仅为 0.81 μg/L(表 2)，处于相对

表 2 2005 年 7 月基于 HPLC 叶绿素 a 浓度的稀释实验结果

**Tab. 2 Results of dilution experiments using HPLC-based Chla in July 2005**

| 站位 | 日期(月-日) | chla(μg/L) | $k(d^{-1})$ | $g(d^{-1})$ | $P_i$(%) | $P_P$(%) | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 07-14 | 0.61 | 1.20 | 0.42 | 34.23 | 49.04 | 0.77 |
| B1 | 07-06 | 0.81 | 0.74 | 0.58 | 43.88 | 84.23 | 0.76 |
| B1 | 07-12 | 0.69 | 1.37 | 1.01 | 63.59 | 85.34 | 0.99 |
| B9 | 07-11 | 0.063 | — | — | — | — | — |
| C3* | 07-12 | 0.33 | 1.21 | 1.05 | 64.90 | 92.52 | — |

注: *为三段法计算; “—”表示无数据

表 3　2005 年 7 月稀释实验各特征色素稀释实验结果

**Tab. 3　Results of dilution experiments for each pigment in July 2005**

| 站位和日期 | 特征色素▲ | 初始质量浓度(μg/L) | $k(d^{-1})$ | $g(d^{-1})$ | $P_i$(%) | $P_P$(%) | $R^2$ | $g/k$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1　7 月 14 日 | peri | 0.033 | 0.80 | 0.25 | 22.08 | 39.96 | 0.52 | 0.31 |
| | fuco | 0.098 | 1.22 | 0.42 | 34.25 | 48.63 | 0.91 | 0.34 |
| | 19'-hex | 0.013 | 0.93 | 0.72 | 51.09 | 84.34 | 0.85 | 0.77 |
| | allo | 0.011 | 0.85 | 0.77 | 53.70 | 93.63 | 0.70 | 0.91 |
| | zea | 0.023 | 0.52 | 0.95 | 61.22 | 150.52 | 0.62 | 1.83 |
| | chlb | 0.051 | 1.23 | 0.45 | 36.22 | 51.12 | 0.60 | 0.37 |
| B1　7 月 6 日 | fuco | 0.255 | 0.68 | 0.69 | 49.79 | 101.02 | 0.84 | 1.01 |
| | 19'-hex | 0.012 | 0.98 | 1.10 | 66.69 | 106.55 | 0.98 | 1.12 |
| | allo | 0.003 | 0.84 | 0.66 | 48.37 | 84.83 | 0.77 | 0.79 |
| | zea | 0.004 | 1.10 | 0.91 | 59.64 | 89.45 | 0.88 | 0.83 |
| | chlb | 0.028 | 0.60 | 0.45 | 36.52 | 81.06 | 0.86 | 0.75 |
| B1　7 月 12 日 | fuco | 0.199 | 1.34 | 0.89 | 58.89 | 79.78 | 0.98 | 0.66 |
| | 19'-hex | 0.007 | — | — | — | — | — | — |
| | zea | 0.043 | 0.87 | 0.64 | 47.02 | 81.09 | 0.85 | 0.74 |
| B9　7 月 11 日 | peri | 0.002 | — | — | — | — | — | — |
| | fuco | 0.002 | — | — | — | — | — | — |
| | 19'-hex | 0.005 | — | — | — | — | — | — |
| | DV-chla | 0.008 | 0.71 | 0.37 | 31.05 | 60.96 | 0.66 | 0.52 |
| C3　7 月 12 日 | fuco* | 0.028 | 0.71 | 0.34 | 28.82 | 56.70 | — | 0.48 |
| | 19'-hex* | 0.012 | 0.79 | 0.73 | 51.57 | 94.42 | — | 0.92 |
| | zea* | 0.070 | 1.07 | 1.02 | 64.07 | 97.71 | — | 0.95 |
| | chlb | 0.026 | — | — | — | — | — | — |
| | peri* | 0.009 | 1.02 | 0.69 | 49.94 | 78.02 | — | 0.68 |

注: *为三段法计算; ▲表示此列为特征色素的缩写; “ — ”表示无数据

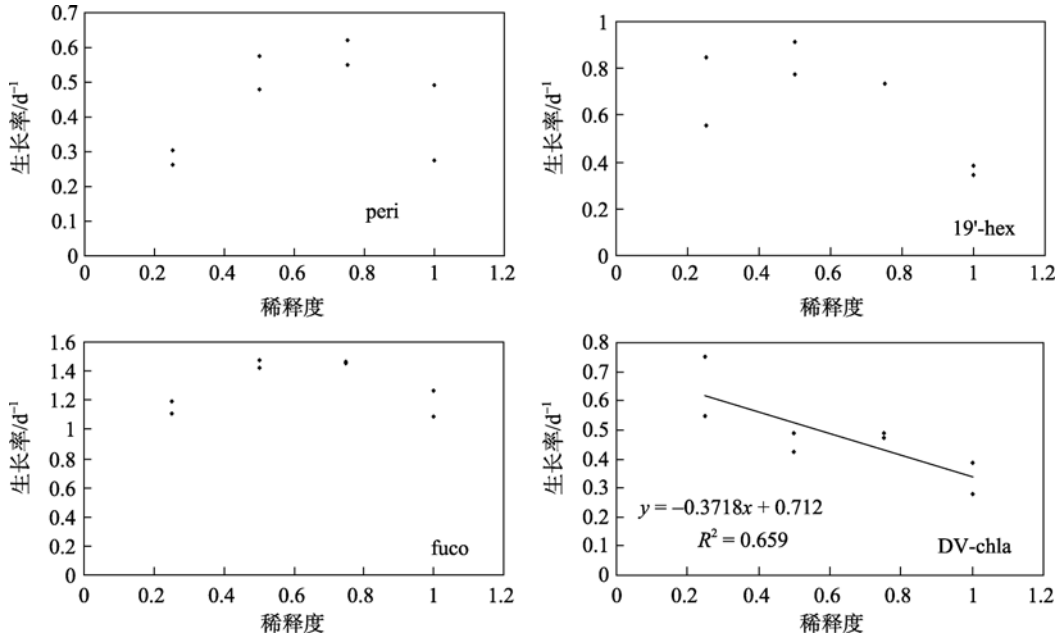


图 3　B9 站稀释实验几种特征色素回归分析图

Fig. 3　Regression analyses of the dilution experiment for several pigments at Sta B9

较低的水平。因此，本次实验条件基本符合这两个条件假设，未稀释的培养瓶在培养前后浮游植物的群落结构并没有明显的改变(图 2)，说明培养环境处于一种较为稳定的状态，环境因素对本次实验的结果影响应不大。

### 3.2 不同色素类群的生长率和摄食死亡率

稀释法通常以叶绿素 a 为指标来表示浮游植物群落整体的生长率和微型浮游动物对其的摄食死亡率，而结合 HPLC 对浮游植物的色素进行分离，可同时评估浮游植物不同色素类群的生长率和摄食死亡率，为了解浮游植物群落的动态变化提供了更为详细的信息。本研究表明，各特征光合色素的生长率为 0.52～1.34 $d^{-1}$，微型浮游动物对其的摄食死亡率为 0.25～1.10 $d^{-1}$，生长率与摄食率均在一个较宽的范围之内，体现了自然水体中不同色素类群浮游植物生长速率的异质性以及微型浮游动物对其的摄食存在着一定的差异；B9 站的实验结果，表明了不同类群浮游植物对营养盐的需求和利用有所不同的情况。由于对台湾海峡微型浮游动物摄食的研究不多，可以进行比较的资料较少，基于 HPLC 叶绿素 a 稀释实验的结果同曾祥波等[20] 2004 年 7 月在同一海域的结果较为接近，不同色素类群的生长率和摄食死亡率也处于所报道的浮游植物生长率和摄食死亡率的范围之内[3]。

*g/k* 值是评价微型浮游动物对浮游植物的摄食控制是否处于平衡的一个指标，*g/k*=1，说明浮游植物的现存量处于一种平衡的状态。对于某一类群的浮游植物而言，*g/k* 值也处于一种变动的状态，如对硅藻，B1 站 7 月 6 日，*g/k* 值为 1.01，而 7 月 12 日时，*g/k* 值为 0.66(表 3)，说明微型浮游动物对某一浮游植物类群的摄食控制也是处于一个动态的状态。通过比较不同浮游植物类群的 *g/k* 值，作者发现，相对于蓝细菌、隐藻和定鞭金藻这些微型藻类，硅藻和甲藻类的 *g/k* 值的平均值明显小于 1，而这些微型藻类的 *g/k* 值则接近于 1(表 4)，这说明微型藻类总体更严格地受到微型浮游动物的摄食控制，生长与摄食死亡处于平衡的状态，而硅藻和甲藻则存在着净生长率，这同 Strom 等[4]的结果相一致。本次研究中，微型浮游动物主要由无壳纤毛虫所构成，其主要摄食 20 μm 以下的浮游植物，因此，这样一种摄食选择倾向性，可能主要是由于饵料粒径的选择性所决定的。

台湾海峡南部海域夏季水文特征比较复杂，在近岸海区以及台湾浅滩南侧有深层海水涌升而常形成不同程度的上升流，可导致浮游植物大量增殖而形成水华[21]。研究微型浮游动物对不同类群浮游植物的摄食，可以更为全面地阐述台湾海峡浮游植物群落结构对海洋环境的变动机制，HPLC 所揭示的不同类群浮游植物的信息，是单纯用叶绿素 a 为指标来表示浮游生长率与死亡率所不能比拟的，这是在今后的微型浮游动物摄食研究中，应该不断完善和加强的一个方向。

表 4 不同浮游植物类群的 ***g/k*** 比率平均值及变动范围

**Tab. 4 The rang and average of *g/k* for different phytoplankton groups**

| 类群 | *g/k* |
|---|---|
| 硅藻和甲藻 | 0.58(0.34~1.01) |
| 微型藻类 | 0.98(0.74~1.83) |

参考文献:


[1] Capriulo G M, Sherr E B, Sherr, B F. Trophic behavior and related community feeding activities of heterotrophic marine protists[R]// Reid P C, Turley C M, Burkill P H .Protozoa and Their Role in Marine Processes. Berlin: Springer, 1991: 219-265.

[2] Gifford D J, Dagg M J. The microzooplankton-mesozooplanktom link: consumption of the planktonic protozoa by the calanoid Acartia tonsa Dana and Neocalanus plumchrus Murukawa[J]. Marine Microbial Food Webs, 1991, 5: 161-177.

[3] Calbet A, Landry M R. Phytoplankton growth, microzooplankton grazing, and carbon cycling in marine systems[J]. Limnol Oceanogr, 2004, 49:51-57.

[4] Strom S L, Welshmeyer N A. Pigment-specific rates of phytoplankton growth and microzooplankton grazing in the open subarctic Pacific Ocean [J].Limnol Oceanogr, 1991, 36: 50-63.

[5] Burkill P H, Mantourar F C, Llewellyn C A, et al. Mirozooplankton grazing and selectivity of phytoplankton in coastal waters[J]. Mar Biol, 1987, 93: 581- 590.

[6] Probynt A. Ammonium regenration by microzooplankton in an upwelling enviroment[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1987, 37: 53-64.

[7] Sahlsten E, Sërensen F, Pettersson K. Plankton nitrogen uptake in the south-easten Kattegat[J]. J Exp Max Ecol Biol, 1988, 121: 221-246.

[8] Gaul W, Antia A N. Taxon-specific growth and selective mierozooplankton grazing of phytoplankton in the

Northeast Atlantic[J]. Journal of Marine Systems, 2001, 30: 241-261.

[9] Obayashi Y, Anoue E. Growth and mortality rates of phytoplankton in the northwestern North Pacific estimated by the mlution method and HPLC pigment analysis[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2002, 280: 33-52.

[10] Palomares-García R, Bustilllos-Guzmán J J, López-Cortés D. pigment-specific rates of phytoplankton growth and microzooplankton growth and microzooplankton grazing in a subtropical lagoon[J]. J Plankton Res, 2006, 28(12): 1217-1232.

[11] Bangqin H, Yuan L, Weiguo X, et al. Grazing impact of microzooplankton on phytoplankton in the Xiamen Bay using pigment-specific dilution technique[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 27(5): 147-162.

[12] Landry M R, Hassett R P. Estimating the grazing impact of marine micro-zooplankton[J]. Mar Biol, 1982, 67: 283-288.

[13] Gallegos C L. Microzooplankton grazing on phytoplankton in the Rhode River, Maryland: nolinear feeding kinetics[J] . Mar Ecol Prog Ser, 1989, 57: 23-331.

[14] Verity P G, Stoecker D K, Sieracki M E, et al. Grazing, growth and mortality of microzooplankton during the 1989 North Atlantic spring bloom at 47°N, 18°W[J]. Deep Sea Res I, 1993, 40: 1793-1814.

[15] Andersen T, Schartau A K L, Paasche E. Quantifying external and internal nitrogen and phosphorus pools, as well as nitrogen and phosphorus supplied through remineralization, in coastal marine plankton by means of a dilution technique[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1991, 69: 67-80.

[16] Gifford D J. Impact of grazing by microzooplankton in the Northwest Arm of Halifax Harbour, Nova Scotia[J]. Mar Ecol Prog Ser 1988, 47: 249-258.

[17] 王丽, 焦念志. 海洋原绿球藻对环境的适应机制[J]. 自然科学进展, 2009, 19(6): 591-598.

[18] Landry M R, Constantinou J, Latasa M, et al. Biological response to iron fertilization in the eastern equatorial Pacific (IronEx II): III. Dynamics of phytoplankton growth and microzooplankton grazing [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2000, 201: 57-72.

[19] Strom S L, Morello T A, Bright K J. Protozoan size influences algal pigment degradation during grazing [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1998, 164, 189-190.

[20] 曾祥波, 黄邦钦. 台湾海峡南部夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力及其生产力[J]. 台湾海峡, 2006, 25(1): 1-9.

[21] 杨尧, 张钒, 高素华. 闽南-台湾浅滩渔场叶绿素 a 含量及分布[C]//洪华生, 丘书院, 阮玉崎, 等. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究. 北京: 科学出版社, 1991: 341-345.

# Grazing impact of microzooplankton on different pigment groups of phytoplankton in the south Taiwan Strait in summer

ZENG Xiang-bo[1, 2], HUANG Bang-qin[2]

(1. Fishery College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Fujian provincial Kay Laboratory of Coastal Ecology and Environmental Studies, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Received:** Dec.,25,2011
**Key words:** microzooplankton; phytoplankton; pigment groups; grazing impact; Taiwan Strait

**Abstract:** Pigment-based growth rates of phytoplankton and mortality rates due to microzooplankton grazing were estimated using a dilution method combined with high-performance liquid chromatography (HPLC) pigment analysis at four different stations in the south Taiwan Strait in July 2005. The growth rates and mortality rates of taxon-specific pigment groups of phytoplankton were 0.52~1.34$d^{-1}$ and 0.25~1.10 $d^{-1}$ respectively and the grazing impact of microzooplankton on the standing stocks and primary productions of taxon-specific pigment groups were 22%~66% and 40%~151%, respectively. According to the *g/k* ratio analysis, the net growth rates of the larger phytoplankton groups (ditoms and dinoflagellates) were higher than those of smaller groups (cyanobacteria, cryptophytes and prymnesiophytes), suggesting that the smaller phytoplanktons were more readily controlled by microzooplankton grazing.

(本文编辑: 梁德海)