

厦门海域春夏季微型浮游动物 对浮游植物的摄食压力初探*

刘媛, 黄邦钦, 曹振锐, 洪华生

(厦门大学海洋环境科学教育部重点实验室, 环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要: 应用稀释法对厦门海域浮游植物生长率(k)和微型浮游动物的摄食率(g)进行了估算。结果显示: 5月, 西海域 18 测站 k 、 g 分别为 2.41、0.78 d^{-1} ; 南部海域 27 测站分别为 2.43、1.32 d^{-1} 。8月 18 测站 k 、 g 分别为 3.00、2.90 d^{-1} ; 27 测站分别为 1.94、0.91 d^{-1} 。说明厦门海域作为典型的亚热带海湾, 具有高的 k 、 g 值。分粒级研究结果显示: 8月, 18 测站微型浮游动物对微型浮游植物(Micro)具摄食偏好; 而 27 测站微型浮游动物对 Micro 和 Nano 级的摄食率相近。应用流式细胞技术研究 18 测站微微型真核浮游植物的 k 、 g , 结果表明: 春季, 生长率和摄食率分别为 2.00、1.02 d^{-1} ; 夏季分别为 1.52、0.96 d^{-1} 。

关键词: 摄食压力; 生长率; 稀释法; 浮游植物; 微型浮游动物; 厦门海域

中图分类号: Q178.53; Q948.12; X17 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2005)01-0009-04

Grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton in Xiamen Waters

LIU Yuan, HUANG Bang-qin, CAO Zhen-rui, HONG Hua-sheng

(Key Laboratory of Marine Environmental Science, Ministry of Education, Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005; China)

Abstract: Phytoplankton growth rate and microzooplankton grazing rate were estimated in Xiamen Waters using dilution method. In spring, phytoplankton growth rate (k) and microzooplankton grazing rate (g) were 2.41 d^{-1} , 0.78 d^{-1} , respectively, at station 18, Western Xiamen Waters, and k , g were 2.43 d^{-1} , 1.32 d^{-1} , respectively, at station 27 which represents Southern Xiamen Waters. In spring, k , g were 3.00 d^{-1} , 2.90 d^{-1} , respectively, at station 18, k , g were 1.94 d^{-1} , 0.91 d^{-1} , respectively, at station 27. It shown that Xiamen Waters is the typical subtropical water with high k , g values. Size-fractionated results show that in summer microzooplankton have a preferential grazing on microphytoplankton at station 18, but was not at station 27. Picoeukaryotes were counted by a flow cytometry before and after dilution incubation and k , g values at station 18 were estimated 2.00 d^{-1} , 1.02 d^{-1} for spring and 1.52 d^{-1} , 0.96 d^{-1} for summer.

Key words: grazing pressure; growth rate; dilution; microzooplankton; Xiamen Waters

微型浮游动物是指体长小于 200 μm 的浮游动物, 在分类学上, 它包括了数量大、在微食物网中非常活跃的纤毛虫、鞭毛虫和甲壳类的浮游幼体。微型浮游动物作为微食物网与经典食物链的重要营养中介, 有效地将物质和能量由微型生产者转移给更大的浮游动物。在一些海区, 尽管浮游植物具有相当高的生长率, 但它们的生物量却因浮游动物的摄食未能产生爆发性增值而发生水华^[1-3]。在我国, 稀释法作为研究微型浮游动物对浮游植物摄食压力的一个重要方法已经被运用

到一些海区^[4,5]。对于厦门海域这样一个典型的亚热带海湾, 相关的工作还没有开展过。

本文利用稀释法, 结合对叶绿素 a 和微微型浮游植物丰度的测定, 对厦门海域两个测站微型浮游动物对浮游植物的摄食压力进行了春、夏两个季节的初步研究。

1 材料与方法

1.1 现场采样

分别于 2003 年 5 月和 8 月在厦门西海域 18

* 收稿日期: 2004-01-15, 修订日期: 2004-03-09

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(G1999043706)

作者简介: 刘媛(1979-), 女(蒙古族), 内蒙古呼和浩特市人, 硕士生, 主要研究方向为海洋微型生物生态。

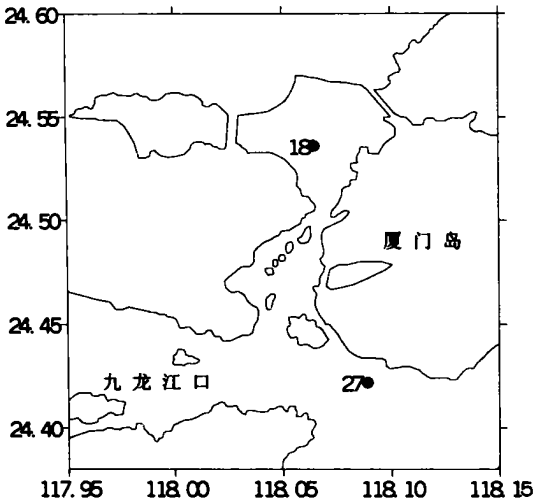


图1 厦门海域采样测站

Fig. 1 Sampling stations in Xiamen Waters

测站和南部海域 27 测站采集表层海水 60 L 左右 (图 1)。海水样品立即送回实验室处理。

1.2 实验室处理

将采回的海水先经 200 μm 筛绢预滤。此部分海水为天然海水。天然海水经 47 mm GF/F 滤膜过滤,得到的海水称为过滤海水。将天然海水和过滤海水按照 1:0, 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 在塑料提桶中充分混合,随后将水样分装到 3.8 L 的培养瓶中(每个稀释比例两个平行样),放入培养箱中,在有良好自然光照条件的地方,利用自来水流动循环控温培养 24 h。培养期间多次晃动培养瓶。

1.3 分粒级叶绿素采样及样品分析

培养前后,从各个培养瓶中取 600 cm^3 水样,进行分级过滤。滤膜组合为 20 μm 筛绢、2 μm 、0.2 μm 聚碳酸酯核孔滤膜,通过差减法可获得各粒级 Chl a 含量(微型(Micro): 20~200 μm ;微型(Nano): 2~20 μm ;微微型(Pico): 0.2~2 μm)。滤膜放入具塞刻度试管中用 5 cm^3 90% 丙酮,于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 暗处萃取 24 h。上清液用 SHIMADZU RF-5301 PC 型荧光分光光度计测定其酸化前后的荧光值,激发光和发射光波长分别为 430 和 670 nm。

1.4 微微型浮游植物采样及样品分析

培养前后,从各个培养瓶中取 1.8 cm^3 水样,加入 0.2 cm^3 10% 的多聚甲醛。黑暗固定 10 min,放入液氮中低温保存。样品在分析前,低光下流水化冻,用 Epics Altra II 型流式细胞仪进行微微型自养细胞计数。依据前向散射光(判断细胞大小)和细胞的发射荧光对不同类型自养细胞进行区别。通过 Expo32 V1.2 分析软件计数各

微微型类群培养前后的细胞丰度。

1.5 微型浮游动物的摄食率和浮游植物的生长率的计算

按照 Landry 的方法^[6],由藻类指数生长公式 $P_t = P_0 \times e^{t(k-g)}$,其中 k 为藻类生长率, g 为藻类被摄食的死亡率, t 为培养时间,方程可表示为: $1/t \ln(P_t/P_0) = k-g$ 。将浮游植物净生长率,即 $1/t \ln(P_t/P_0)$ 与稀释因子 D_i (天然海水占混合海水的比例)作线性回归,就可以得到 k 、 g 两个系数。微型浮游动物对浮游植物现存量 and 初级生产力的摄食压力(分别用 P_i 和 P_p 表示),可由以下公式求得^[11]:

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

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

2 结果与讨论

2.1 研究海区的环境参数和浮游植物群落组成

18 测站位于厦门西港宝珠屿附近,水深 13 m 左右; 27 测站位于胡里山南部海域,水深 20 m 左右。叶绿素 a 的最高值出现在夏季 18 测站,达到 33.28 $\mu\text{g/L}$ 。夏季 27 号站溶解无机氮(DIN)溶解无机磷(DIP)浓度最低,分别为 13.7、0.08 $\mu\text{mol/L}$ 。其余 DIN 浓度均较高,接近或超过 30 $\mu\text{mol/L}$; DIP 也都达到或高于 0.5 $\mu\text{mol/L}$ (表 1)。

表 1 两季各测站表层环境参数

Tab. 1 Environmental parameters at the two study stations

测站	时间	水深/m	叶绿素 / $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	DIN / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	DIP / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
18	2003-05-27	13	4.88	44.1	1.3
	2003-08-10	14	33.28	29.8	0.5
27	2003-05-29	18.5	9.65	41.7	0.6
	2003-08-12	20.3	13.84	13.7	0.08

5 月份的浮游植物样品由于保存出现问题,无法进行镜检。8 月份,在 18 测站检出了骨条藻、角毛藻、盒形藻、菱形藻、星杆藻、海毛藻、海线藻、海链藻、根管藻和双尾藻。其中,骨条藻在数量上占有绝对的优势。在 27 测站检出了细柱藻、角毛藻、骨条藻、菱形藻、圆筛藻、根管藻、海线藻、海链藻。其中,细柱藻和角毛藻为优势种。可见,18 测站与 27 测站的浮游植物群落结构有较大差异。

2.2 稀释实验结果

2.2.1 春、夏两季厦门海域浮游植物总生长率及微型浮游动物的摄食压力

表 2 列出了利用总叶绿素 a 变化得到的稀释

实验结果。其中 r^2 代表由净生长 ($\ln P_i/P_0$) 与稀释因子 (D_i) 得到的回归曲线中的相关因子。

表 2 厦门海域稀释实验的结果

Tab. 2 Results of dilution experiments in Xiamen Waters

测站	时间	r^2	k/d^{-1}	g/d^{-1}	$P_i/(%)$	$P_p/(%)$
18	2003-05-27	0.6344	2.4106	0.7817	54.23	59.59
	2003-08-10	0.7806	2.999	2.8953	94.47	99.43
27	2003-05-29	0.7598	2.4319	1.3169	73.20	80.26
	2003-08-12	0.6191	1.943	0.9075	59.65	69.62

可见,在调查期间,两个测站都是浮游植物生长率大于浮游动物的摄食率。对于西海域的 18 测站,春季的生长率和摄食率均高于夏季,而南部的 27 测站则正好相反。微型浮游动物对浮游植物现存量 and 初级生产力的摄食最大值均出现在夏季的 18 测站,同时浮游植物生长率的最大值也出现在夏季的 18 测站,这与夏季 18 测站具有最高的叶绿素 a 相吻合(表 1)。这说明夏季的 18 测站浮游生物群落内部发生着剧烈的生物活动(生长与摄食)。另一方面,微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力 P_i 和对初级生产力的摄食压力 P_p 最小值出现在春季的 18 测站。而 27 测站两季的 P_i 、 P_p 大小在 18 测站两季相应值之间。这说明由春季到夏季,比起开放的南部海域(27 测站),较为封闭的西海域(18 测站)浮游动物群落结构变化更大。这需要进一步的浮游动物镜检予以佐证。

从国内所做稀释实验得到的结果看,6 月份,渤海湾 k 为 $0.43 \sim 0.73 d^{-1}$, g 为 $0.42 \sim 0.69 d^{-1}$ [4]; 4、5 月份间,长江口外 k 为 $2.48 d^{-1}$, g 为 $1.13 d^{-1}$ [5]。国外,夏威夷 Kaneohe 湾 k 、 g 分别达到 $2.0 d^{-1}$ 和 $1.1 d^{-1}$ [8], 日本 Hiroshima 湾 k 、 g 值分别达到 $1.9 d^{-1}$ 和 $1.4 d^{-1}$ [9]。相比之下,厦门海域作为一个典型的亚热带海湾,具有比渤海湾更高的生产力和周转率。与长江口、夏威夷湾和 Hiroshima 湾具有可比的 k 值,但 g 值更高。厦门海域,尤其是西海域为中营养化水域,但局部(如养殖区海域)为富营养化海域,叶绿素 a 和营养盐浓度较高。高的 g 值说明小型浮游动物的摄食作用对于调控浮游植物生物量非常重要。

2.2.2 微型浮游动物对不同粒级浮游植物的摄食

分粒级叶绿素实验结果显示:春季,两测站培养前后 Nano 级浮游植物均占据优势,其比例大于 80%。同时, Nano 级的 k 、 g 值(表 3)与由总叶绿素 a 得到的 k 、 g 值非常接近(表 2)。此外,

由流式细胞仪分析计算得到的 18 测站春季微型浮游植物的 k 、 g 值 $1.997 d^{-1}$ 与 $1.018 d^{-1}$ (图 2),说明微型浮游动物对于不同粒级浮游植物没有特别的摄食偏好。夏季,18 测站 Micro 级的 k 、 g 值(表 3)都高于由总叶绿素 a 得到的 k 、 g 值(表 2)。同时, k 小于 g , 这种情况在所有类群中是唯一的一例。说明在 Micro 浮游植物快速生长的同时,微型浮游动物对其施加有相当大的摄食压力。同时,18 测站微微型自养真核细胞的 k ($1.515 d^{-1}$) 和 g ($0.9573 d^{-1}$) 都比春季略有下降(图 2)。Nano 和 Pico 级的生长率及被摄食率都远小于 Micro 级浮游植物(表 3, 图 2)。孙军在对东海微型浮游动物的摄食研究中指出: Nano 和 Micro 的大小在微型浮游动物适宜的开口范围[5]。本实验中 Micro 浮游植物高的 g 值与 Micro 此时占据总叶绿素 a 优势(70%)有关: Micro 级(主要是长链骨条藻)生物量上的绝对优势增加了浮游动物和它们的相遇几率,也就造成了微型浮游动物对 Micro 级高的摄食率。在较为开阔的南部海域 27 测站, Micro 级和 Nano 级的浮游植物 k 、 g 值(表 3)与由总叶绿素 a 得到的 k 、 g 值(表 2)相近,说明微型浮游动物对 Micro 级和 Nano 级的浮游植物不存在明显的摄食偏好。

表 3 厦门海域分粒级稀释实验结果

Tab. 3 Size-fractionated results of dilution experiments in Xiamen Waters

项目	18测站				27测站			
	春季		夏季		春季		夏季	
	Micro	Nano	Micro	Nano	Micro	Nano	Micro	Nano
g/d^{-1}	-	1.0587	4.6185	0.7258	-	1.5776	0.9095	0.9297
k/d^{-1}	-	2.4577	3.3961	2.3156	-	2.7772	1.9031	1.8588
$P_i/(%)$	-	65.31	99.01	51.61	-	79.36	59.73	60.53
$P_p/(%)$	-	71.42	102.45	57.26	-	84.62	70.19	71.71

-表示 r^2 小于 0.2, 结果未列出。

2.3 培养前后的营养盐变化

稀释实验成立的第一点假设是海水中对浮游植物生长必要的溶解成分在培养期间不成为制约因子。为了考察培养期间的营养盐状况,2003 年 8 月份的稀释实验在培养前后分别取培养水体测定 NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 的浓度,结果表明:18 测站和 27 测站在培养前,总无机氮浓度分别达到近 30 和 14 $\mu\text{mol/L}$ 。培养后,营养盐浓度呈现在高稀释度培养瓶中浓度最低的趋势,但是整体水平仍维持在 10 $\mu\text{mol/L}$ 左右,可见不存在氮限制。

对于磷酸盐,尤其是 27 测站,尽管在培养前对平行样的处理十分严格,但培养后,平行样的营

养盐水平差异较大,反映了复杂的生物活动的影响。低的磷酸盐浓度(0.1 $\mu\text{mol/L}$)证明了厦门港的潜在磷限制。同时,27测站培养后各个组内的磷酸盐浓度均高于培养前。是否是生物对磷的再矿化作用导致这样的结果以及试验期是否存在磷限制,确切的结论还要通过添加营养盐的对比实验得到。

3 结 论

厦门海域作为典型的亚热带海湾,具有高的生产力和周转率。春季,两测站微型浮游动物对不同粒级的浮游植物没有摄食偏好。夏季,18测站微型浮游动物对Micro级浮游植物具有摄食偏好,27测站型浮游动物对不同粒级的浮游植物没有摄食偏好。培养实验期间,不存在氮限制,可能存在磷限制。今后,拟在以下三方面开展后续工作:

一是利用高效液相色谱分析方法跟踪特征光合色素在培养前后的变化,以研究由特征色素表征的不同浮游植物类群的生长及被摄食情况,此部分的数据正在处理中。

二是进行对微型浮游动物群落结构的分析。

三是在营养盐较低的海区进行营养盐添加的对比培养实验,寻找稀释法在贫营养海区运用的

条件。

参考文献:

- [1] RECKERMANN M, VELDHUIS M J Q. Trophic interaction between picophytoplankton and micro and nano-zooplankton in the western Arabian Sea during the NE monsoon 1993 [J]. *Aquat Microb Ecol*, 1997, 12: 263-273.
- [2] WANG R, LI C, WANG K, *et al.* Feeding activities of zooplankton in the Bohai Sea [J]. *Fish Oceanogr*, 1998, 7: 265-271.
- [3] DAGG M J. Ingestion of phytoplankton by the micro- and meso-zooplankton communities in a productive subtropical estuary [J]. *J Plankton Res*, 1995, 17: 845-857.
- [4] 张武昌,王荣.渤海微型浮游动物及其对浮游植物的摄食压力 [J]. *海洋与湖沼*, 2000, 31(3): 252-258.
- [5] 孙 军,刘东艳,王宗灵,等.春季赤潮频发期东海微型浮游动物摄食研究 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14(7): 1073-1080.
- [6] LANDRY M R, HASSETT R P. Estimating the grazing impact of marine microzooplankton [J]. *Mar Biol*, 1982, 67: 283-288.
- [7] VERITY P G, STOECKER D K, SIERACKI M E, *et al.* Microzooplankton grazing of primary production at 140°W in the equatorial Pacific [J]. *Deep-Sea Res*, II, 1996, 43: 1227-1255.
- [8] LANDRY M R, HAAS L W, FAGERNESS V L. Dynamics of microbial plankton communities: experiments in Kaneohe Bay, Hawaii [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1984, 16: 127-133.
- [9] KAMIYAMA T. The impact of grazing by microzooplankton in northern Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea, Japan [J]. *Mar Biol*, 1994, 119: 77-88.