

学校编码： 10384  
学 号： 200134023

分类号： \_\_\_\_\_ 密级： \_\_\_\_\_  
UDC： \_\_\_\_\_

厦 门 大 学  
硕 士 学 位 论 文

厦门海域及长江口微型浮游动物对不同  
类群浮游植物的摄食生态研究

Microzooplankton Grazing on Phytoplankton  
as Revealed by Taxon-specific Pigments in Xiamen Waters  
and Yangtze River Estuary

刘 媛

指导教师姓名：黄邦钦 教授  
专 业：环 境 科 学  
论文提交日期：2004 年 7 月  
论文答辩日期：2004 年 7 月  
申请学位级别：硕 士  
学位授予单位：厦 门 大 学  
学位授予日期：2004 年 10 月

答辩委员会主席：焦念志 教 授  
评阅人：张玉生 研究员  
林元烧 教 授

2004 年 7 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘 要

应用稀释法并结合高效液相色谱技术(HPLC),分别于2003年5月、8月、12月及2004年2月在厦门海域,2003年9月在长江口开展了微型浮游动物对浮游植物不同类群的摄食生态研究,探讨了不同粒级、不同类群浮游植物的生长率,以及微型浮游动物对浮游植物相应类群的摄食率、对浮游植物现存量 and 初级生产的摄食压力,同时分析了微型浮游动物对不同类群浮游植物的摄食喜好以及荧光法与HPLC法在估计浮游植物生长率和摄食率方面的差异,结果表明:

厦门海域浮游植物生长率介于 $0.71-2.2 d^{-1}$ ,最大值出现在5月的宝珠屿海区,微型浮游动物的摄食率介于 $0.18-1.3 d^{-1}$ ,最大值出现在5、8月的宝珠屿海区;2003年9月长江口浮游植物生长率和微型浮游动物的摄食率分别为 $3.4 d^{-1}$ 、 $2.7 d^{-1}$ 。与HPLC法相比,荧光法在厦门海域的测值较高,而在长江口的测值较低。厦门海域微型浮游动物对浮游植物现存量和初级生产的摄食压力( $P_i$ 和 $P_p$ )分别介于12-73%和22-87%;用荧光法得到的相应测值分别为17-94%和29-111%。2003年9月,长江口 $P_i$ 和 $P_p$ 分别为94%和97%;用荧光法得到的相应测值分别为29%和34%。

对浮游植物不同类群的生产力(PP)和微型浮游动物对其日摄食量(G)的研究结果表明,厦门海域浮游植物不同类群PP和G随季节而变化,以四个月份主要类群PP及G都可得到的18测站为例,硅藻的PP在8月最高,达 $31 \mu g Chl a / L \cdot d$ ,G为 $28 \mu g Chl a / L \cdot d$ ,蓝藻PP和G的最高值同样出现在8月,分别为 $0.42 \mu g Chl a / L \cdot d$ 和 $0.36 \mu g Chl a / L \cdot d$ 。不同类群的PP和G亦存在差异,以多样性较高的2月为例,青绿藻、硅藻和隐藻的PP较高,分别达0.50,0.44,0.13 $\mu g Chl a / L \cdot d$ ,微型浮游动物对它们的G分别为 $0.46 \mu g Chl a / L \cdot d$ 、 $0.27 \mu g Chl a / L \cdot d$ 和 $0.12 \mu g Chl a / L \cdot d$ 。

2003年9月长江口最主要的初级生产者为硅藻，PP高达 $32 \mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$ 。其它类群的PP都很小：绿藻和青绿藻都小于 $1 \mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$ ，隐藻和蓝藻则更小。微型浮游动物对所有类群的G都与PP相当，故其他影响浮游植物生长的因素不显著时，主要类群的浮游植物Chl *a* 生物量基本保持稳定。

微型浮游动物相对喜好指数(RPI)表明，12月和2月厦门海域微型浮游动物对甲藻、绿藻和青绿藻存在优先摄食，而对硅藻则存在避食行为；2003年9月长江口微型浮游动物对青绿藻、硅藻存在优先摄食，对隐藻和蓝藻则有明显的避食行为。研究表明：夏季长江口微型浮游动物对浮游植物初级生产的摄食压力略高于厦门海域。

关键词：微型浮游动物； 浮游植物不同类群； 摄食生态； 厦门海域

## Abstract

Dilution experiments were carried out in Xiamen Waters and Yangtze River estuary in May, August, December in 2003, February in 2004 and September in 2003, respectively in combination with HPLC method to study the taxon-specific grazing ecology of microzooplankton grazing. Growth rates of different size fractions and phytoplankton populations together with grazing rates of microzooplankton on different phytoplankton populations, grazing pressure on phytoplankton standing stock and phytoplankton primary productions were studied. At the same time, grazing preference of microzooplankton on different phytoplankton populations as well as the difference between growth rates and grazing rates determined via fluorometry and HPLC were analyzed. Results are as followings:

The growth rate of phytoplankton in Xiamen Bay ranged from 0.71-2.2  $d^{-1}$  with a maximum value appearing near BaoZhu Island in May. Microzooplankton grazing rates ranged from 0.18-1.3  $d^{-1}$  with a maximum value appearing near Baozhu Island in May and August. In September, 2003 phytoplankton growth rate and microzooplankton grazing rate in Yangtze River estuary were 3.4  $d^{-1}$  and 2.7  $d^{-1}$ , respectively. Compared with HPLC method, fluorometry method gave higher values of k and g estimates for Xiamen Waters while lower values of k and g estimates for Yangtze River estuary. The range of microzooplankton grazing pressure on phytoplankton standing stock (Pi) and primary production(Pp) were 12-73% and 22-87% in Xiamen Waters, respectively. Relative values determined from fluorometry method were 17-94% and 29-111%. As for Yangtze River estuary, Pi and Pp in September, 2003 were 94% and 97%, respectively. Relative values

determined from fluorometry method were 29% and 34%, respectively.

The results of primary production of different phytoplankton populations (PP) and daily grazing of microzooplankton on them (G) showed that PP and G varied with months in Xiamen Waters. Take station 18 as an example, PP of Diatom was highest in August as being 31  $\mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$  and G on it being 28  $\mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$ . The maximum value of PP and G for Cyanobacteria also appeared in August, with each being 0.42  $\mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$  and 0.36  $\mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$ , respectively. PP and G varied for different phytoplankton populations. Take February, a month with high phytoplankton biodiversity, as an example: PP of Prasinophytes, Diatoms and Cryptophytes were higher than other phytoplankton populations as being 0.50, 0.44, 0.13  $\mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$ , respectively. Grazing amount on these three populations were 0.46  $\mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$ , 0.27  $\mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$  and 0.12  $\mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$ .

Diatom was the most important primary producer in Yangtze River estuary in September, 2003 with its PP high as 32  $\mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$ . PP of other phytoplankton populations were much lower with Chlorophyte and Prasinophyte produced less than 1  $\mu\text{g Chl } a / \text{L}\cdot\text{d}$  and other populations still lower. G and PP were rather comparable in Yangtze River estuary in September, 2003 thus the phytoplankton standing stock should have kept steady if there were no other factors significantly influencing phytoplankton growing.

Relative Preference Index of microzooplankton (PRI) showed that : Microzooplankton grazed preferentially on Dinoflagellate, Chlorophyte and Prasinophyte while tended to avoid Diatom in Xiamen Waters. As for Yangtze River estuary in September, 2003, microzooplankton grazed preferentially on

Prasinophyte and Diatom while tended to avoid Cryptophyte and Cyanobacteria. Compared with Xiamen Waters, microzooplankton exerted a more significant influence on phytoplankton primary production.

Key words: Microzooplankton; Different phytoplankton populations; Grazing ecology; Xiamen Waters

## 缩 写 词

19-hex	19'-hexanoyloxyfucoxanthin	19-丁酰基氧化岩藻黄素
Allo	Alloxanthin	别藻黄素
Anth	Antheraxanthin	花药黄素
Ch a	Chlorophyllide a	脱酯基叶绿素 a
CHEMTAX	Chemical Taxonomy	
Chl a	Chlorophyll a	叶绿素 a
Chl b	Chlorophyll b	叶绿素 b
Chl c	Chlorophyll c	叶绿素 C
Croco	Crocoxanthin	
DAD	Photodiode array detector	光电二极管阵列监测器
Di	Dilution factor	稀释因子
Diad	Diadinoxanthin	硅甲藻黄素
Diato	Diatoxanthin	硅藻黄素
Dihydr	Dihydrolutein	
DIN	Dissolved inorganic nitrogen	溶解无机氮
DIP	Dissolved inorganic phosphorus	溶解无机磷
DMF	N,N-dimethylformamide	二甲基甲酰胺
Fuco	Fucoxanthin	岩藻黄素
g	Grazing rate of microzooplankton	微型浮游动物摄食率
G	Daily grazing of microzooplankton on phytoplankton	微型浮游动物日摄食量
k	Growth rate of phytoplankton	浮游植物生长率
Micro	Micromonal	



MICRO	Microphytoplankton	小型浮游植物
NANO	Nanophytoplankton	微型浮游植物
Nea	Neaxanthin	新黄素
Peri	Peridinin	多甲藻素
Phea	Phaeophytin	脱镁叶绿素 a
Pi	Grazing pressure on phytoplankton standing stock	微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力
PICO	Picophytoplankton	微微型浮游植物
PP	Primary production	初级生产
Pp	Grazing pressure on phytoplankton primary production	微型浮游动物对浮游植物生产力的摄食压力
PP	Primary production of phytoplankton	浮游植物处级生产力
Prasi	Prasinolaxanthin	青绿藻素
RPI	Relative preference index	相对喜好指数
Urio	Uriolide	
Viol	Violaxanthin	紫黄素
Zea	Zeaxanthin	玉米黄素
$\alpha$ -car	$\alpha$ -carotene	$\alpha$ -胡萝卜素
$\beta$ -car	$\beta$ -carotene	$\beta$ -胡萝卜素

# 目 录

摘 要.....	I
缩 写 词.....	VI
<b>第一章 绪论.....</b>	<b>1</b>
第一节 微型浮游动物摄食生态研究的意义.....	1
第二节 稀释法在微型浮游动物摄食生态研究中的应用.....	2
第三节 国内研究现状及本实验内容.....	8
<b>第二章 研究海区概况及实验材料、方法.....</b>	<b>10</b>
第一节 厦门海域简介.....	10
第二节 长江口及东海 PN 断面简介.....	11
第三节 材料与方法.....	11
<b>第三章 厦门海域微型浮游动物对浮游植物的摄食压力.....</b>	<b>22</b>
第一节 研究海域的环境特征.....	22
第二节 厦门海域各粒级浮游植物生长率及摄食率.....	25
第三节 利用特征光合色素计算的浮游植物不同类群生长率.....	36
第四节 荧光分光法与 HPLC 法得到的稀释结果比较.....	49
第五节 稀释实验中的营养盐浓度.....	52
<b>第四章 长江口及东海 PN 断面微型浮游动物对浮游植物的摄食研究.....</b>	<b>70</b>
第一节 研究海域的环境特征.....	70
第二节 长江口及东海 PN 断面各粒级浮游植物生长率及摄食率.....	71
第三节 利用特征光合色素计算的浮游植物不同类群的生长率.....	73
第四节 荧光分光法与 HPLC 法得到的稀释结果比较.....	78
第五节 稀释实验中的营养盐浓度.....	78
<b>第五章 讨论与展望.....</b>	<b>85</b>
第一节 实验结果的比较.....	85

第二节 稀释法在研究海区运用中的问题及建议.....	90
第三节 未来的工作方向及展望.....	92
[参考文献].....	98
致 谢.....	109

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## Content

<b>Abstract</b> .....	<b>I</b>
<b>Notes for shortened words</b> .....	<b>VI</b>
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
Section 1 Significance of studying microzooplankton grazing ecology ....	1
Section 2 Application of dilution method in microzooplankton grazing ecology study.....	2
Section 3 Progress of microzooplankton ecology study and the content of this research work .....	8
<b>Chapter 2 Main introduction to study areas and materials, methods</b> ....	<b>10</b>
Section 1 Main introduction to Xiamen Waters .....	10
Section 2 Main introduction to Yangtze River estuary and PN transect in East China Sea.....	11
Section 3 Materials and methods .....	11
<b>Chapter 3 Microzooplankton grazing pressure on phytoplankton in Xiamen Waters</b> .....	<b>22</b>
Section 1 Environmental characteristics of study areas .....	22
Section 2 Size-fractionated growth rates and grazing rates of phytoplankton in Xiamen Waters .....	25
Section 3 Growth rates of different phytoplankton populations calculated via diagnostic photosynthetic pigments .....	36
Section 4 Comparison of results derived from fluorometry and HPLC methods .....	49
Section 5 Nutrient concentrations during incubation .....	52
<b>Chapter 4 Microzooplankton grazing pressure on phytoplankton in</b>	

<b>Yangtze Rive estuary and PN transect in East China Sea</b> .....	<b>70</b>
Section 1 Environmental characteristics of study areas .....	70
Section 2 Size-fractionated growth rates and grazing rates of phytoplankton in the four study stations in PN transect in East China Sea .....	71
Section 3 Growth rates of different phytoplankton populations caculated via diagnostic photosynthetic pigments .....	73
Section 4 Comparison of results derived from fluorometry and HPLC methods .....	78
Section 5 Nutrient concentrations during incubation.....	78
<b>Chapter 5 Discussion and a prospective look</b> .....	<b>85</b>
Section 1 Comparison of experiment results.....	85
Section 2 Problems of dilution method during application and suggestions on how to solve them.....	90
Section 3 Comments for future work .....	92
<b>Reference</b> .....	<b>98</b>
<b>Acknowledgement</b> .....	<b>109</b>

## 第一章 绪论

### 第一节 微型浮游动物摄食生态研究的意义

浮游植物是海洋初级生产力的主要贡献者,它启动了海洋生态系统的物质循环和能量流动。因此,浮游植物所支持的初级生产成为海洋有机碳转化与循环的基础。

海洋表层水的各种生物过程对于生源要素的循环非常重要。通过大、中型浮游动物的摄食作用形成的大颗粒能够快速沉降到洋底,也即这些物质在真光层内的循环是缓慢的。大的颗粒物质,比如硅藻可以直接沉降或被粪便等大的颗粒物吸附进而快速沉降。与此同时,NANO 和 PICO 级的浮游植物作为大洋中的主要初级生产者,其重要性已经被广泛认识<sup>[1-5]</sup>。在开阔的大洋区,传统的关于富营养和贫营养的认识受到挑战,因为在这里存在着高营养盐浓度、低生物量(HNLC)的矛盾,而解释此现象的一个重要假设就是:活跃的微型浮游动物摄食活动阻碍了浮游植物充分的利用营养盐储库<sup>[6,7]</sup>。如微型浮游动物可以有效的摄食浮游植物,这样就使水柱的浮游植物生产和消耗耦合起来<sup>[8,9]</sup>。因此认为:微型浮游动物摄食者控制了浮游植物的粒级结构和群落组成,即微型浮游动物的摄食作用控制了表层海水中物质的输出通量。

研究微型浮游动物摄食生态的意义在于了解浮游生物间的营养关系乃至整个浮游生物群落的营养结构。海水中浮游生物的营养结构控制了 f 比(新生生产力与总初级生产力之比):当大部分初级生产者被微型浮游动物(如原生动物)摄食而进入微食物网循环时,沉降到真光层之外的生源要素就会减少<sup>[10-13]</sup>。因此,开展微型浮游动物的摄食生态研究,对于揭示海区初级生产的碳流途径与归宿以及海洋生物泵运作效率具有重要

意义。

微型浮游动物是指体长小于 200 $\mu\text{m}$  的浮游动物。在分类学上,它包括了数量巨大、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牧食食物链的重要营养中介,能够有效地捕食微小型浮游植物<sup>[14-16]</sup>,将物质和能量由微型生产者转移给更大的浮游动物<sup>[17-19]</sup>。在一些海区,尽管浮游植物具有相当高的生长速率,但它们的生物量却因浮游动物的摄食未能产生爆发性增殖而发生水华<sup>[20-22]</sup>。因此,微型浮游动物的摄食被认为是海洋中控制浮游植物生物量的最重要因素<sup>[23,24]</sup>。

## 第二节 稀释法在微型浮游动物摄食生态研究中的应用

微型浮游动物对浮游植物摄食研究的方法已有学者作过总结<sup>[25-28]</sup>现将直接测定方法总结于下表(表 1-1)。

稀释法自 1982 年建立以来<sup>[32]</sup>,已广泛应用于估计浮游植物的生长速率和微型浮游动物的摄食压力。稀释法还同类群特异性的光合色素(即特征光合色素)方法<sup>[37,38,39,40]</sup>和流式细胞技术<sup>[41,42,43]</sup>结合起来,这两种方法都可以提供浮游植物特征类群生长率和摄食死亡率的信息。而这些信息对于了解复杂食物网中的营养关系和碳循环的动力学都必不可少。以下就将稀释法作一简介。

### 1 稀释法的产生及原理

#### 1.1 稀释法的特点

稀释法在 1982 年由 Landry<sup>[32]</sup>首先提出,它是一种可以将浮游植物生长率和被摄食死亡率综合考虑的方法,因此利用稀释法可以区分生长缓慢的群落和看似生长缓慢,而事实上,其内部却在发生着快速的生长代谢和被摄食的浮游植物群落<sup>[44]</sup>。从操作上看,这种方法使用的是天然海区的

浮游生物群体。对海水进行稀释而不是分粒级培养或富集，对脆弱的浮游生物来说，给予了最大程度的保护。

### 1.2 稀释法的基本原理

稀释法成立，需要三个基本假设：(1)浮游植物生长速率与其在培养水体中的密度无关。(2)摄食速率只与水体中浮游动物的密度有关。(3)浮游植物的生长依指数生长方程  $P_t = P_0 \times e^{t(k-g)}$ 。

由假设(3)， $P_t = P_0 \times e^{t(k-g)}$ ，其中， $k$  为浮游植物生长系数， $g$  为浮游植物被摄食的死亡系数， $t$  为培养

时间。方程可表示为： $1/t \ln(P_t/P_0) = k-g$ 。设稀释梯度为 1:0, 3:1,

1:1, 1:3 (天然海水:稀释海水, 稀释海水由 0.8 $\mu$ m 的 GF/F 膜过滤得到)。可以得到以下的方程： $1/t$

$\ln(P_t/P_0) = k-g$ ,  $1/t \ln(P_t/P_0) = k-0.75g$ ,  $1/t \ln(P_t/P_0) = k-0.5g$ ,

$1/t \ln(P_t/P_0) = k-0.25g$ 。任意两个方程联立求解，均可求得  $k$ 、 $g$

值。若将浮游植物净生长速率，即  $1/t \ln(P_t/P_0)$  与稀释因子  $D_i$  (天然海水占总的混合海水的比例) 作线性回归 (每个方程中的系数就是  $D_i$ )，就可以得到  $k$ 、 $g$  两个系数的置信区间(图 1-1)。图中的  $y$  轴截距  $k$  为浮游植物生长速率的真实值，也即不存在浮游动物摄食时的生长速率，负的斜率  $g$  为浮游动物的摄食压力。

### 1.3 对于稀释法假设的讨论

稀释实验简便易行，但也存在一定问题。即关键的三个基本假设不一定总成立。对于第一点假设，海水中任何对浮游植物生长必要的溶解成分

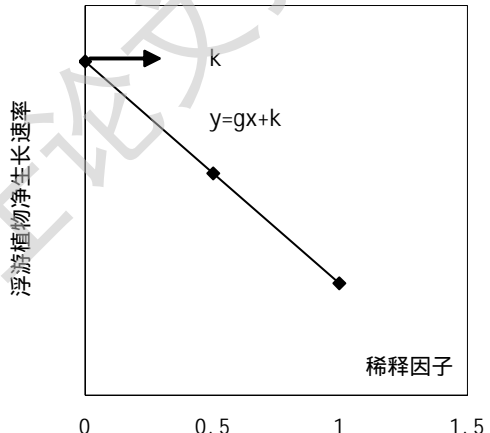


图1-1 稀释回归方程模式  
Fig. 1-1 Model of Dilution Regression



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库