

黄、东海春季和秋季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力

张武昌¹, 张翠霞^{1,2}, 王荣¹, 肖天¹

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态和环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 2000年秋季(10月21日-11月7日)和2001年春季(4月30日-5月15日)用稀释培养法在黄海和东海测定了微型浮游动物对浮游植物的摄食, 结果表明: (1)秋季表层浮游植物叶绿素 *a* (Chl *a*)的内禀生长率为 $0.40\sim 0.59\text{ d}^{-1}$, 微型浮游动物对 Chl *a* 的摄食率为 $0.21\sim 0.63\text{ d}^{-1}$, 对 Chl *a* 现存量的摄食压力为 $19\%\sim 47\%\text{ d}^{-1}$, 对 Chl *a* 生产力的摄食压力为 $59\%\sim 108\%\text{ d}^{-1}$. 深层 Chl *a* 的内禀生长率为 $0.25\sim 0.65\text{ d}^{-1}$, 微型浮游动物对 Chl *a* 的摄食率为 $0.29\sim 0.53\text{ d}^{-1}$, 对浮游植物 Chl *a* 现存量的摄食压力为 $25\%\sim 41\%\text{ d}^{-1}$, 对 Chl *a* 生产力的摄食压力为 $86\%\sim 114\%\text{ d}^{-1}$. (2) 春季表层 Chl *a* 的内禀生长率为 $0.01\sim 0.81\text{ d}^{-1}$, 微型浮游动物对 Chl *a* 的摄食率为 $0.13\sim 0.54\text{ d}^{-1}$, 对 Chl *a* 现存量的摄食压力为 $12\%\sim 42\%\text{ d}^{-1}$, 对 Chl *a* 生产力的摄食压力为 $21\%\sim 3920\%\text{ d}^{-1}$. 深层 Chl *a* 的内禀生长率为 $0.55\sim 0.60\text{ d}^{-1}$, 微型浮游动物对 Chl *a* 的摄食率为 $0.57\%\sim 0.63\text{ d}^{-1}$, 对 Chl *a* 现存量的摄食压力为 $44\%\sim 47\%\text{ d}^{-1}$, 对 Chl *a* 生产力的摄食压力为 $103\%\sim 104\%\text{ d}^{-1}$.

关键词: 微型浮游动物; 稀释培养; 摄食压力; 黄海; 东海

中图分类号: Q958.885.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)01-0036-04

微型浮游动物(Microzooplankton)是指体长小于 $200\ \mu\text{m}$ 的浮游动物^[1], 分属于原生动物的纤毛虫、鞭毛虫和后生动物桡足类的幼虫等。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中枢作用^[2]。微型浮游动物对浮游植物的摄食和浮游植物的生长是海洋浮游生态学研究的重要参数, 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]。但是, 在黄、东海微型浮游动物对浮游植物的摄食压力的研究并不多^[4-6], 这些研究进行的稀释培养实验主要是海洋表层水的培养, 本文报道 2000 年秋季和 2001 年春季在黄东海进行的稀释培养, 其中有 4 次是在深层水进行的培养, 为这一海区提供基础资料和参数。

1 材料与方 法

2000 年秋季(10月21日-11月7日)和 2001 年春季(4月30日-5月15日), “东方红 2 号”科学考察船在黄、东海(图 1)进行调查, 秋季的调查站位共 4 个, 春季的站位有 5 个, 站位水深(表 1)最浅为 20 m (E4), 最深为 1000 m (P1)。

调查船在每一站位抛锚 27 h, 在此期间用 CTD 测量水体不同深度的温度、盐度, 用 Rosette 采水器采水, 进行稀释培养实验。在每个站都进行了表层水的稀释培养试验。根据温度盐度剖面(图 2), 在个别

站位还在温度跃层附近采水[秋季: E2 站的 42 m 和 E7 站的 20 m(该站流大, 培养瓶放的深度较浅, 所以只好采较浅的水); 春季: E2 站的 25 m 和 E5 站的 25 m]进行了稀释培养。

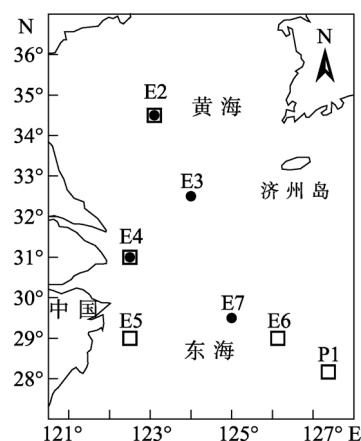


图 1 调查站位图

Fig. 1 Investigation stations

●: 2000 年秋季; □: 2001 年春季

●: Autumn 2000; □: Spring 2001

收稿日期: 2009-10-21; 修回日期: 2010-03-10

基金项目: 国家自然科学基金(40876085); 国家 973 计划项目(2011CB409804);

国家自然科学基金(40821004); 中国科学院创新项目(KZCX2-YW-213-3)

作者简介: 张武昌(1973-), 男, 博士, 研究方向: 海洋生态学, E-mail: wuchangzhang@qdio.ac.cn

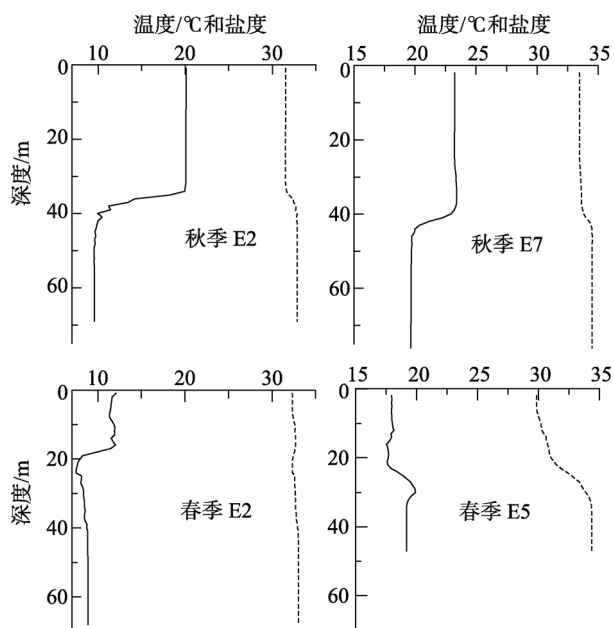


图 2 秋季和春季有深层培养站位的温度(实线)和盐度(虚线)的垂直分布

Fig. 2 Vertical profiles of temperature (solid line) and salinity (dashed line) at stations with deep-water incubation.

稀释培养^[7]按照按 UNESCO^[8]方法进行。10%盐酸浸洗 1.3 L 的聚碳酸酯瓶 10 h 以上, 使用前用现场海水冲洗。采水器采水 20 L, 一部分海水用 GF/F[®]滤膜过滤, 称为过滤海水, 另一部分海水用 200 μm 筛绢过滤以除去大于 200 μm 的浮游动物, 称为原始海水。将过滤海水与原始海水按一定比例混合, 稀释度 d 为原始海水体积与混合后总体积的比值。将过滤海水和原始海水按 0:1, 1:3, 1:1, 3:1 的比例(稀释度分别为 1、0.75、0.5、0.25)混合, 在每个稀释度采水 500 mL, 用于测定叶绿素 a(Chl a)浓度, 剩余海水分装于聚碳酸酯瓶中, 每个稀释度有 2 个平行样。培养瓶用网包住放入果品箱, 果品箱用绳索吊在采水深度进行培养 24 h。培养后, 每瓶采水 500~1000 mL, 用于测定 Chl a 浓度。

用于测定 Chl a 浓度的水样采集后, 用 GF/F[®]滤膜过滤, 滤膜在-20 °C 保存, 一个月内测定。测定时, 用 10 mL 浓度为 90%的丙酮-20 °C 黑暗中提取滤膜上的 Chl a , 用 Turner II 型荧光光度计测量 Chl a 浓度^[9]。

假设原始海水中浮游植物的内禀生长率为 k , 微型浮游动物的摄食率为 g , 浮游植物处于指数增长期, 培养前浓度为 P_0 , 培养后 P_t , 那么, $P_t = P_0 e^{(k-g)t}$, 表观生长率 $\ln(P_t/P_0)/t = k - g$, 混合海水中, 浮游植物的生

长率 k 不会改变, 微型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, $P_t = P_0 e^{(k-d \times g)t}$, 表观生长率 $\ln(P_t/P_0)/t = k - d \times g$ 。 k 和 g 是通过 4 个稀释度培养瓶中的 Chl a 表观生长率对稀释度的回归求得。

微型浮游动物对 Chl a 现存量和初级生产力的摄食压力(分别用 P_i 和 P_p 表示)用下列公式求出^[10]:

$$P_i = 1 - e^{-gt} \times 100\%$$

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

2 结果

各培养站位和层次的温度、盐度和 Chl a 浓度的情况见表 1。秋季各站表层温度为 20.14~23.27 °C, 盐度为 27.87~33.48, Chl a 浓度为 0.57~1.26 μg/L。温度和盐度的垂直分布有明显的跃层(图 2), 底层温度比表层低。E2 站的深层培养水样采自水深 40 m 处, 处于温跃层以下(图 2), 温度为 10.46 °C, Chl a 浓度低于表层(表 1)。E7 站的深层培养水样采自水深 20 m, 处于温跃层以上(图 2), Chl a 浓度高于表层(表 1)。

春季各站表层温度为 12.07~25.67 °C, 盐度为 25.29~34.40, Chl a 浓度 0.14~4.85 μg/L。P1 站和 E6 站位置接近, 但是, P1 站的表层温度比 E6 站的表层温度和盐度都升高很多, Chl a 浓度也最低(0.14 μg/L)。在近岸(E5)底层比表层温度高, 但表底相差不大, 在远岸(E2)底层温度比表层低(图 2)。E2 站的深层(25 m)培养水样采自温跃层以下, E5 站的深层培养水样采自水深 12 m, 处于温跃层以上(图 2)。但是, 两站深层培养水样的 Chl a 浓度都比表层高(表 1)。

表层稀释培养的结果(表 1)表明, 秋季表层浮游植物 Chl a 浓度的内禀生长率为 0.40~0.59 d⁻¹, 微型浮游动物对 Chl a 浓度的摄食率为 0.21~0.63 d⁻¹, 对 Chl a 现存量的摄食压力为 19%~47% d⁻¹, 对 Chl a 生产力的摄食压力为 59%~108% d⁻¹。春季表层 Chl a 的内禀生长率为 0.01~0.81 d⁻¹, 微型浮游动物对 Chl a 的摄食率为 0.13~0.54 d⁻¹, 对 Chl a 现存量的摄食压力为 12%~42% d⁻¹, 对 Chl a 生产力的摄食压力为 21%~3920% d⁻¹。

深层海水稀释培养的结果(表 1)表明, 秋季深层 Chl a 浓度的内禀生长率为 0.25~0.65 d⁻¹, 微型浮游动物对 Chl a 的摄食率为 0.29~0.53 d⁻¹, 对 Chl a 现存量的摄食压力为 25%~41% d⁻¹, 对 Chl a 生产力的摄食压力为 86%~114% d⁻¹。春季深层 Chl a 的内禀生长率为 0.55~0.60 d⁻¹, 微型浮游动物对 Chl a 的摄食率为 0.57~

0.63 d⁻¹, 对 Chl *a* 现存量的摄食压力为 44%~47% d⁻¹, 对 Chl *a* 生产力的摄食压力为 103%~104% d⁻¹。

表 1 各站位稀释培养水层的温度、盐度和 Chl *a* 浓度和培养结果

Tab. 1 Initial incubation conditions (*T*: temperature, *S*: Salinity) and results of *k* (potential growth rate of Chl *a*), *g* (microzooplankton grazing rate on Chl *a*), *P_i* (microzooplankton grazing pressure on Chl *a* standing stock), and *P_p* (microzooplankton grazing pressure on Chl *a* primary production)

时间	站位	水深 (m)	培养深度 (m)	温度 (°C)	盐度	Chl <i>a</i> (µg/L)	<i>k</i> (d ⁻¹)	<i>g</i> (d ⁻¹)	<i>r</i> ²	<i>P_i</i> % d ⁻¹	<i>P_p</i> % d ⁻¹
2000 年 10~11 月	E2	70	0	20.14	31.52	0.61	0.57	0.63	0.82	47	108
			40	10.46	32.77	0.16	0.25	0.29	0.92	25	114
	E3	38	0	21.48	31.53	0.57	0.59	0.21	0.58	19	43
	E4	20	0	21.70	27.87	1.23	0.40	0.38	0.98	32	96
	E7	80	0	23.27	33.48	1.26	0.56	0.29	0.91	25	59
			20	23.22	33.50	1.35	0.65	0.53	0.91	41	86
2001 年 5 月	E2	70	0	12.07	32.35	0.88	0.01	0.54	0.57	42	3 920
			25	8.13	32.59	10.64	0.55	0.57	0.98	44	103
	E4	20	0	17.00	25.29	1.35	0.81	0.13	0.60	12	21
	P1	1 000	0	25.67	34.40	0.14	0.04	0.20	0.76	18	458
	E5	50	0	17.96	29.83	4.85	0.18	0.35	0.24	30	179
			12	18.16	30.31	8.90	0.60	0.63	0.99	47	104
E6	75	0	17.72	32.74	0.67	0.39	0.27	0.89	24	73	

注: *k*: Chl *a* 内禀增长率, *g*: 微型浮游动物对 Chl *a* 的摄食率, *P_i*: 微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力, *P_p*: 微型浮游动物对浮游植物初级生产力的摄食压力

3 讨论

自然海水稀释培养的方法是估计微型浮游动物摄食压力的常用方法, Calbet and Landry^[3]总结了用稀释法研究的浮游植物初级生产力被微型浮游动物摄食的比例平均为 60%~75%。本文中有 7 个培养的结果中, 微型浮游动物对浮游植物生产力的摄食压力高于 100%, 即浮游植物的现存量减少, 微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力不会高于 100%(表 1), 所以这样的数据是正常的。因为稀释培养测定的是一天内的瞬时值, 所以这样的结果不会长时间持续。

与表层的结果相比, 深层稀释培养的结果有如下的特点: (1)深层稀释培养结果的相关性好, 回归系数(*r*²)较高(0.91~0.99, 表 1), 表层的 *r*² 值较为分散(0.24~0.98), 这说明深层培养比较符合稀释法要求的条件^[7]; (2)深层的浮游植物生产力被摄食的比例都比较接近 100% (86%~114%), 说明浮游植物的生产基本被微型浮游动物摄食掉了。

参考文献:

[1] Dussart B M. Les differentes categories de plancton. [J]

Hydrobiologia, 1965, 26: 72-74.

[2] Gifford, D J, Dagg, M J. The microzooplankton-mesozooplankton 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]. Limnology and Oceanography, 2004, 49(1): 51-57.

[4] Zhang W, Xu K, Wan R, et al. Spatial distribution of ciliates, copepod nauplii and eggs, *Engraulis japonicus* post-larvae and microzooplankton herbivorous activity in the Yellow Sea, China[J]. Aquatic Microbial Ecology, 2002, 27(3): 249-259.

[5] Zhang W, Li H, Xiao T, et al. Impact of microzooplankton and copepods on the growth of phytoplankton in the Yellow Sea and East China Sea[J]. Hydrobiologia, 2006, 553: 357-366.

[6] 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): 1 073-1 080.

[7] Landry M R, Hassett R P. Estimating the grazing impact of marine microzooplankton[J]. Marine Biology,

- 1982, 67: 283-288.
- [8] UNESCO. Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) core measurements[R]. 1994.
- [9] Strickland J D, Parsons T R. A practical handbook of seawater analysis[M]. 2nd ed. Bulletin Fisheries Research Board of Canada, 1972: 1-167.
- [10] 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 Research I, 1993, 40: 1793-1814.

Grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton in spring and autumn in the Yellow Sea and East China Sea

ZHANG Wu-chang¹, ZHANG Cui-xia^{1, 2}, WANG Rong¹, XIAO Tian¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Oct., 21, 2009

Key words: microzooplankton; grazing; Yellow Sea; East China Sea

Abstract: Microzooplankton grazing on phytoplankton was estimated using dilution incubation method in Autumn (21 October-7 November) 2000 and Spring (30 April-15 May) 2001 in Yellow Sea and East China Sea. (1) In Autumn. In the surface waters, the potential growth rate of Chlorophyll *a* (Chl *a*) was in a range of 0.40~0.59 d⁻¹. Microzooplankton grazing rates on Chl *a* were 0.21~0.63 d⁻¹. As a result, microzooplankton grazing pressure on Chl *a* standing stock and primary production were in the range of 19%~47% d⁻¹ and 59%~108% d⁻¹, respectively. In deep waters, the potential growth rates of Chl *a* were in a range of 0.25~0.65 d⁻¹. Microzooplankton grazing rates on Chl *a* were 0.29~0.53 d⁻¹. As a result, microzooplankton grazing pressure on Chl *a* standing stock and primary production were in the range of 25%~41% d⁻¹ and 86%~114% d⁻¹, respectively. (2) In spring. In the surface waters, the potential growth rates of Chl *a* were in a range of 0.01~0.81 d⁻¹. Microzooplankton grazing rates on Chl *a* were 0.13~0.54 d⁻¹. As a result, microzooplankton grazing pressure on Chl *a* standing stock and primary production were in the range of 12%~42% d⁻¹ and 21%~3920% d⁻¹, respectively. In deep waters, the potential growth rates of Chl *a* were in a range of 0.55~0.60 d⁻¹. Microzooplankton grazing rates on Chl *a* were 0.57~0.63 d⁻¹. As a result, microzooplankton grazing pressure on Chl *a* standing stock and primary production were in the range of 44%~47% d⁻¹ and 103%~104% d⁻¹, respectively.

(本文编辑: 张培新)