

海洋围隔生态系中浮游动物的研究*

黄凤鹏¹, 李瑞香¹, 孙爱荣², 王宗灵¹

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 2002-05-20—26 在东海进行小尺度船基浮游生物生态系围隔实验, 研究浮游动物的群落结构、组成与环境之间的关系, 探讨了优势种群的自然繁殖发育期。结果表明, 浮游动物的种类组成较简单, 优势种明显。浮游动物生物量、丰度及优势种群丰度三者的变化呈逐渐增加趋势。在实验期的 1~5 d, 小拟哲水蚤的无节幼虫和早期幼体占绝对优势, 该自然种群的丰度不断增加; 随时间推移, 无节幼虫逐渐发育为桡足幼体, 而后又逐渐发育为成体。因此, 本次实验期是实验海区优势种小拟哲水蚤种群的自然繁殖发育盛期。

关键词: 围隔生态系; 浮游动物; 优势种群; 自然繁殖发育期; 东海

中图分类号: Q958.885

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2012)01-0087-07

海洋围隔生态实验是现代海洋生态系统研究方法之一, 其优点在于能保持部分海洋生态系统特征, 并可在相当长的时间内(数天至数月)从围隔实验装置内反复取样, 这对于浮游生物研究是至关重要的。因为在自然环境中浮游生物的不连续变化而难以进行连续测定, 海洋围隔生态研究可以有目的控制生态系, 并以此了解生态系功能、生物群落等各种环境变化和化学污染物的响应、营养盐等对生态系的影响及其影响过程和机制等。

关于长江口附近海域海洋围隔生态系中浮游动物的研究还未见报道。为研究长江口自然海洋生态系中浮游动物的群落结构、种群组成及其与环境之间的关系, 探讨优势种群的自然繁殖发育期, 我们进行了围隔生态系实验。

1 材料与方 法

2002-05-20—26 在东海长江口外花鸟山海域(30°50'30"N, 122°36'42"E), 进行小尺度船基浮游生物生态系围隔实验(实验海区见图 1)。围隔装置安装在后甲板上, 围隔袋材料为聚乙烯塑料袋, 直径 1 m, 水深 1 m, 水体容量约 780 L, 外部钢架 2.2 m×3.5 m×1.3 m, 系上帆布袋围成水池, 两侧有多个出水孔, 用水泵将海水泵入帆布袋内使海水循环保持围隔内水温与海区相同^[1]。取样时间每天上午 7:00, 实验周

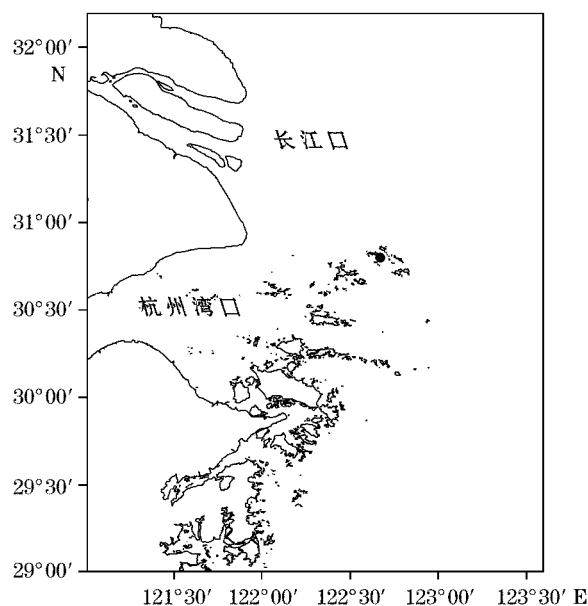


图 1 长江口花鸟山海域示意图(●为海洋围隔区)

Fig.1 The sea area of Hua Niao Shan at Changjiang River estuary

(● is experimental area of enclosure ecosystem)

* 收稿日期: 2010-12-29

资助项目: 国家重点基础研究发展计划——我国近海藻类灾害演变机制与生态安全(2010CB428701); 我国近海有害赤潮发生的生态学、海洋学机制及预测防治(2001CB409702)

作者简介: 黄凤鹏(1952-), 男, 山东金乡县人, 副研究员, 主要从事海洋浮游动物形态分类和海洋生态学方面研究。

(高 峻 编辑)

期 7 d。在海上实验调查期间,用孔径为 100 μm 尼龙筛绢制成的小网过滤 5 L 已混均的水样,采集的样品用质量分数为 5% 的福尔马林海水溶液固定保存,实验室镜检。据它们的形态和生态特征^[2-7],进行分类鉴定、计数、称重,并换算为丰度(个/L)和生物量(mg/L)。生物量的测量用感量 0.01 g 电子天平直接称重(湿重)法进行,生物量和丰度均为 5 个围隔实验装置内生物湿重和丰度的平均值,样品室内分析处理按《海洋调查规范》^[8]进行。浮游动物丰度的多重比较采用最小显著差数法(LSD 法),最小显著差数法是在 F 测验差异显著的前提下推断 2 个平均数的差数是否达到显著水平的最小差数 $\text{LSD}\alpha$ 的多重比较方法。

2 研究结果

2.1 种类组成及生态特点

本次实验采集到浮游动物 9 种和幼体、幼虫 3 种,其中桡足类 6 种、毛颚类 1 种、被囊类 1 种、原生动物 1 种和多毛类浮游幼体 1 种,桡足类无节幼虫 2 种。

浮游动物种类名录:

中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i> Brodsky, 1962
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i> (Claus, 1863)
克氏纺锤水蚤	<i>Acartia clausi</i> Giesbrecht, 1889
柱形宽水蚤	<i>Temora stylifera</i> (Dana, 1849)
拟长腹剑水蚤	<i>Oithona similis</i> Claus, 1866
近缘大眼剑水蚤	<i>Corycaeus (Ditrichocorycaeus) affinis</i> Mcmurrichi, 1916
箭虫	<i>Sagitta</i> sp.
夜光虫	<i>Noctiluca scientillans</i> (Macartney 1810) Kofoid et Swezy, 1921
住囊虫	<i>Oikopleura</i> sp.
尾稚虫	<i>Pygospio</i> sp.
中华哲水蚤无节幼虫	<i>Calanus sinicus</i> nauplius
小拟哲水蚤无节幼虫	<i>Paracalanus parvus</i> nauplius

浮游动物种类组成的生态类型是以近岸沿海暖水种为主,优势种为小拟哲水蚤(占浮游动物丰度的 81.1%)。

2.2 浮游动物生物量的分布

2.2.1 生物量的分布

5 个围隔水体中浮游动物生物量的分布见表 1。

表 1 浮游动物生物量的分布($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 1 The distribution of zooplanktonic biomasses($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

围隔袋号	实验天数/d						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.2	0.4	2.0	4.0	4.0	6.0	6.0
2	1.0	2.0	2.0	4.0	4.0	6.0	8.0
3	1.0	2.0	2.0	4.0	4.0	6.0	8.0
4	1.0	2.0	2.0	4.0	4.0		
5	0.4	2.0	2.0	4.0	4.0	6.0	4.0

注:空白处为未采样

由表 1 可知,5 个围隔水体中浮游动物生物量的分布,第 1 天和第 2 天围隔 1 号和围隔 5 号、第 2 天的围隔 1 号有差异外,其它同时间围隔间均没差异,由此得出:5 个围隔水体中浮游动物生物量的分布规律差别

基本不明显。

2.2.2 总生物量的变化

浮游动物总生物量的变化是随取样时间的推移,呈逐渐增加的趋势(图 2)。总生物量的最低值出现在实验的第 1 天,为 0.72 mg/L,第 4 天与第 5 天的生物量相同,最高总生物量出现在第 7 天,为 6.5 mg/L,平均值为 3.56 mg/L。5 个围隔中浮游动物总生物量的变化规律差别不明显。

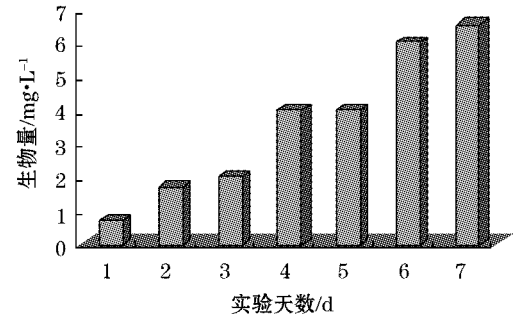


图 2 浮游动物生物量的变化

Fig. 2 The variation of zooplanktonic biomasses

2.3 浮游动物丰度的分布

2.3.1 浮游动物丰度的分布

5 个围隔水体中浮游动物丰度的分布见表 2。

表 2 浮游动物丰度的分布(个·L⁻¹)

Table 2 The distribution of zooplanktonic abundances (ind. · L⁻¹)

围隔袋号	实验天数/d						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2.2	14.4	55.0	61.2	100.8	95.4	64.0
2	48.2	72.0	89.0	141.8	148.0	111.2	149.6
3	15.6	63.4	53.4	103.4	127.2	150.4	121.2
4	46.8	43.2	72.2	128.0	134.8		
5	45.5	33.0	50.2	148.4	57.2	98.6	39.0

注:空白处为未采样

由表 2 可知 5 个围隔水体中浮游动物丰度的分布规律差异不明显(见表 4 多重比较结果)。

2.3.2 浮游动物丰度的变化

浮游动物丰度的变化与总生物量的变化趋势基本相同见图 3,其丰度随取样时间的推移而变化。第 1 天至第 4 天呈逐渐增加趋势,由 31.72 个/L 增加到 116.56 个/L,第 5 天和第 6 天略有下降,第 7 天下降为 93.45 个/L,平均值为 82.63 个/L。5 个围隔水体中同期浮游动物丰度的变化规律差异不明显。

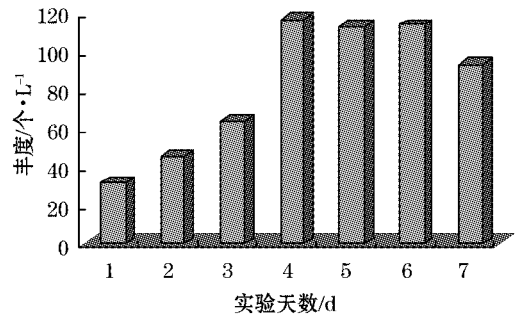


图 3 浮游动物丰度的变化

Fig. 3 The variation of zooplanktonic abundances

2.4 优势种群丰度的分布

2.4.1 小拟哲水蚤丰度的分布

小拟哲水蚤是近岸沿海暖水种^[2],在实验区围隔水体中的分布见表 3,该种群丰度的变化与浮游动物总生物量和总丰度的变化趋势一致。小拟哲水蚤的平均丰度为 71.3 个/L,占浮游动物丰度的 81.20%。由此看来,小拟哲水蚤是实验区围隔水体中的主要优势种群。

表 3 浮游动物各类群丰度的分布(个·L⁻¹)

Table 3 The distribution of zooplanktonic abundances (ind. · L⁻¹)

群 落	平均丰度							占总丰度比例						
	实验天数							实验天数						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
小拟哲水蚤	14.72	34.92	51.32	99.08	105.52	106.80	86.75	46.71	77.26	80.24	85.00	92.89	93.77	92.83
其它桡足类	0.68	1.68	2.68	7.84	6.96	6.40	6.55	2.14	3.72	4.19	6.73	6.13	5.62	7.01
幼 虫	15.40	6.68	6.84	6.72	0.32	0.10	0	48.55	14.78	10.69	5.77	0.28	0.09	0
其它浮游动物	0.92	1.92	3.12	2.92	0.80	0.60	0.15	2.90	4.25	4.88	2.51	0.70	0.53	0.16

2.4.2 小拟哲水蚤丰度的变化

实验期间小拟哲水蚤种群丰度的变化开始时为 14.72 个/L, 实验后期为 86.75 个/L, 随取样时间的推移, 其丰度变化基本呈逐渐增加的趋势(图 4)。

小拟哲水蚤的无节幼虫, 本次实验开始时为 15.24 个/L, 实验后期为 0 个/L, 随取样时间的推移, 幼虫丰度变化基本呈逐渐减少趋势(图 5)。

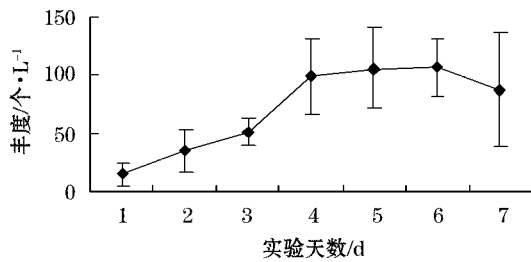


图 4 小拟哲水蚤丰度的变化

Fig. 4 The variation of *Paracalanus parvus* abundances

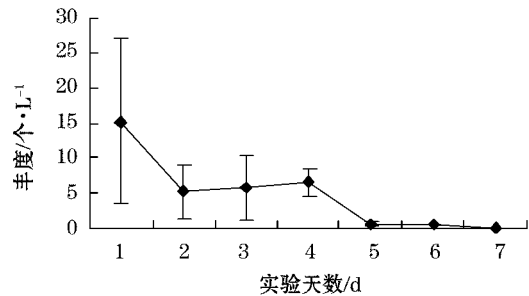


图 5 小拟哲水蚤无节幼虫丰度的变化

Fig. 5 The variation of *Paracalanus parvus* nauplii abundances

2.5 显著性测验

判断 5 个围隔水体中浮游动物丰度的差异显著或不显著, 必须在所有平均数中一对一地比较才能确定, 也就是判断 5 个围隔水体中浮游动物丰度中两两间差异显著的假设测验。统计学将差异显著性水平 α 一般取 0.05 或 0.01。

利用 SPSS17.0 的 LSD 法^[9]进行多重比较, 结果表明, 围隔 1 与围隔 2 间差异显著, 其余差异均不显著。由此得出: 各围隔间丰度的差异基本不显著。

3 讨论

3.1 优势种群丰度变化与胶洲湾海域的比较

将本次实验期间小拟哲水蚤种群丰度的变化与胶洲湾海域的资料^[5]进行比较。2003 年全年胶洲湾小拟哲水蚤均有分布, 丰度的分布有波动, 最低丰度在 2003-01, 平均为 0.28 个/m³, 最高丰度在 2003-07, 平均为 14.71 个/m³, 全年平均为 4.41 个/m³(图 6), 胶洲湾小拟哲水蚤全年自然繁殖发育丰度的高峰在 2003-07^[5]。本次实验第 1 天到第 6 天, 小拟哲水蚤种群丰度呈逐渐增加。第 7 天随小拟哲水蚤个体发育接近成熟, 种群丰度略有下降, 由本次实验期间小拟哲水蚤种群丰度的变化趋势可以看出(图 4~5), 2002-05 下旬是实验海域小拟哲水蚤种群的自然繁殖发育盛期。

3.2 优势种群与海水温度的关系

浮游桡足类是浮游动物中的优势种群, 且终年占优势^[10]。胶州湾 2003 年浮游动物的种类多样性与海水平均温度线性回归得出, 它们之间相关性非常显著^[11]。海水温度是浮游动物繁殖发育的重要条件之一。

小拟哲水蚤的繁殖发育有一个适温范围, 在适温范围内, 种群丰度高峰出现时间的水温应为该种群自然繁殖发育的最佳水温。种群自然繁殖发育最佳水温的时间, 为该种个体发育近成体丰度的高峰时及无节幼虫和早期桡足幼体的多少。由图 3 初步判定, 实验海域 2002-05 应为其最佳水温时间。

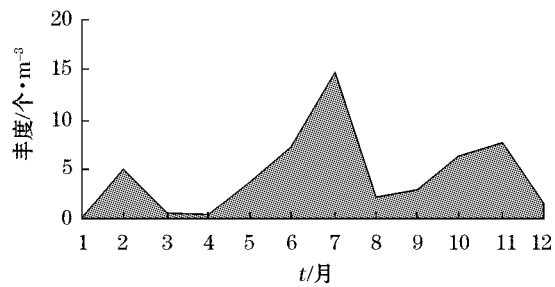


图 6 2003 年胶州湾小拟哲水蚤的丰度分布

Fig. 6 The distribution of *Paracalanus parvus* abundances in Jiaozhou Bay, 2003

本次实验海域 2002-05 的平均水温达 19.3 °C, 胶州湾 2003-05 的平均水温是 14.9 °C, 2003-06 的平均水温是 18.8 °C, 2003-07 的平均水温是 23.0 °C。实验海域 2002-05 的水温对应的该种个体发育近成体丰度的高峰期、无节幼虫和早期桡足幼体期。这种繁殖发育水平, 在胶州湾 2003-07 才能达到。这主要因为胶州湾的纬度高于实验海域。

2003-07 胶州湾的海水温度是小拟哲水蚤自然繁殖发育最佳水温, 而实验海域 2002-05 的海水温度可能是该种群自然繁殖发育最佳水温。

可以确定的是, 实验区围隔水体中小拟哲水蚤是浮游桡足类的主要优势种群, 该种群与海水温度的关系密切。

4 结 语

本次实验共采集到浮游动物 10 种, 桡足类无节幼虫 2 种。种类组成较简单, 优势种明显突出, 生态类型的特点是以近岸沿海、暖水种为主, 优势种是小拟哲水蚤。浮游动物的总生物量、丰度及优势种群丰度三者的分布变化趋势基本一致, 即: 随取样时间的推移, 基本呈逐渐增加的趋势, 浮游动物的同期平面分布变化规律不明显。

小拟哲水蚤的无节幼虫, 随取样时间的推移, 丰度变化基本呈逐渐减少趋势至零。实验期间采集的小拟哲水蚤多为拟成体, 仅在实验后的第 6 天、第 7 天间采集到为数不多的成体。实验期 1~5 d, 小拟哲水蚤的无节幼虫和早期桡足幼体(第 I~III 期)占绝对优势, 此时该自然种群的丰度不断增加, 随时间推移, 无节幼虫逐渐发育为桡足幼体, 而后又逐渐发育为成体。因此, 认为本次实验期(2002-05 下旬)是实验海区优势种小拟哲水蚤种群的自然繁殖发育盛期。因本次实验条件所限, 实验期较短(1~7 d), 故尽管资料和成果是客观的, 仍待今后加长实验期做进一步深入研究。

致谢: 国家海洋局第一海洋研究所蒲书箴研究员对本文写作给予帮助。

参考文献(References):

- [1] LI R X, ZHU M Y, WANG Z L, et al. Mesocosm experiment on competition between two HAB species in East China sea [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(7): 1049-1054. 李瑞香, 朱明远, 王宗灵, 等. 东海两种赤潮生物种间竞争的围隔实验, [J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1049-1054.
- [2] CHEN Q C, ZHANG S Z. The planktonic copepods of the yellow sea and the East China Sea - I. Calanoida. [J]. Studia Marina Sinica, 1965, 7: 20-131. 陈清潮, 章淑珍. 黄海和东海的浮游桡足类 - I, 哲水蚤目 [J]. 海洋科学集刊, 1965, 7: 20-131.
- [3] CHEN Q C, ZHANG S Z, ZHU C S. On planktonic copepods of the yellow sea and the East China Sea - II. Cyclopoida and Harpacticoida. [J]. Studia Marina Sinica, 1974, 9: 26-100. 陈清潮, 章淑珍, 朱长寿. 黄海和东海的浮游桡足类 - II, 剑水蚤目和猛水蚤目 [J]. 海洋科学集刊, 1974, 9: 26-100.
- [4] ZHENG Z, LI S Q, XU Z Z. Marine planktology [M]. Beijing: Ocean Press, 1984. 郑重, 李少青, 许振祖. 海洋浮游生物学 [M]. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [5] HUANG F P, HUANG J Z, YANG Y L, et al. Spatial-temporal distribution of planktonic copepods in the Jiaozhou Bay [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4045-4052. 黄凤鹏, 黄景洲, 杨玉玲, 等. 胶州湾浮游桡足类的时空分布 [J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4045-4052.
- [6] MENG F, MAO X H, HUANG F P, et al. Distribution of zooplankton in the frontal eddy region of the Kuroshio in the East China Sea [J]. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(3): 296-304. 孟凡, 毛兴华, 黄凤鹏, 等. 东海黑潮锋面涡旋区浮游动物的分布 [J]. 生态学报, 1995, 15(3): 296-304.
- [7] HUANG F P, MENG F, LIU D Y, et al. Distribution of copepods in the Kuroshio region in the Northern East China Sea [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 2000, 18(3): 61-65. 黄凤鹏, 孟凡, 刘东艳, 等. 东海北部黑潮区的浮游桡足类 [J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(3): 61-65.
- [8] GB/T 12763. 6—2007 Specification for oceanographic survey—Part: Marine biological survey [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. GB/T 12763. 6—2007 海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [9] CAI Y L, YUE Y S. Aquatic creatures statistics [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004. 蔡一林, 岳永生. 水产生物统计 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [10] HUANG S M. The zooplankton of Jiaozhou Bay [J]. Journal of Shandong College of Oceanology, 1983, 13(2): 43-60. 黄世政. 胶州湾的浮游动物 [J]. 山东海洋学院学报, 1983, 13(2): 43-60.
- [11] HUANG F P, SUN A R, WANG Z L, et al. Spatial and temporal distribution of zooplankton in the Jiaozhou Bay [J]. Advances in Marine Science, 2010, 28(3): 332-341. 黄凤鹏, 孙爱荣, 王宗灵, 等. 胶州湾浮游动物的时空分布 [J]. 海洋科学进展, 2010, 28(3): 332-341.

Study on Zooplankton in a Marine Enclosure Ecosystem

HUANG Feng-peng¹, LI Rui-xiang¹, SUN Ai-rong², WANG Zong-ling¹

(1. *First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: An experiment on zooplankton in a small scale marine enclosure ecosystem was carried out on board in the East China Sea from 20 th to 26 th, May 2002 to study the community structure and composition, their relationship to the environment and to discuss natural reproduction and growth period of the dominant species. Results showed that the zooplanktonic community composition was of simplicity with its obviously dominant species. The variational tendencies of the temporal and spatial distributions of the zooplanktonic biomass, abundance and dominant population abundance were tend to be gradually increased. The nauplii and nonage larvae of *Paracalanus parvus* became dominant 1~5 days after experiment started, and the abundance of this natural population was increasing. Then the nauplii developed into copepodite larvae, and finally became the adults along with the time passed. Therefore, the experimental period was right the time of bloom for natural reproduction and growth of *Paracalanus parvus* in the experimental sea area.

Key words: microcosm ecosystem; zooplankton; dominant population; natural reproduction and growth period; the East China Sea

Received: December 29, 2010