

# 三门湾浮游动物的季节变动及微型浮游动物摄食影响

刘镇盛<sup>1,2,3</sup>, 王春生<sup>2,3</sup>, 张志南<sup>1</sup>, 刘诚刚<sup>2,3</sup>, 杨关铭<sup>2</sup>

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 青岛 266003; 2. 国家海洋局 第二海洋研究所, 杭州 310012;

3. 国家海洋局 海洋生态系统与生物地球化学重点实验室, 杭州 310012)

**摘要:** 2002 年 8 月、11 月、2003 年 2 月和 5 月, 在三门湾进行了 4 个航次生物、化学和水文等专业综合调查。根据采集的浮游动物样品的分析鉴定及海上现场实验结果, 对浮游动物的群落组成、生物量、丰度、多样性指数的分布和季节变动及其浮游动物对浮游植物的摄食影响进行研究。结果表明, 三门湾浮游动物有 67 属, 89 种, 16 类浮游幼体, 主要可划分为 4 个生态类群: 以近岸低盐类群为主, 其优势种为中华哲水蚤 *Calanus sinicus*、真刺唇角水蚤 *Labidocera euchaeta*、捷氏歪水蚤 *Tontanus derjugini*、太平洋纺锤水蚤 *Acartia pacifica*、中华假磷虾 *Pseudeuphausia sinica* 和百陶箭虫 *Sagitta bedoti* 等, 半咸水河口类群、暖水性外海类群和广布种相对较少。浮游动物生物量和丰度的平面分布趋势除了夏季有所差异外, 其它季节基本一致。2 月份和 5 月份, 浮游动物生物量和丰度, 从湾顶向湾口呈逐渐增加趋势; 8 月份, 湾口区生物量最高, 而丰度高值区出现在湾顶部; 11 月份, 生物量和丰度的平面分布相对均匀。浮游动物种类多样性指数有明显的季节变化, 其动态变化与浮游动物种数和丰度的变化一致。微型浮游动物对浮游植物存在摄食压力, 且有季节变化, 摄食率的变化在  $0.18 \sim 0.68 \text{d}^{-1}$ , 微型浮游动物的摄食率低于相同季节的浮游植物生长率。微型浮游动物对浮游植物摄食压力的变化范围为  $16.1\% \sim 49.1\% \text{d}^{-1}$ , 对初级生产力摄食压力的变化在  $58.3\% \sim 83.6\% \text{d}^{-1}$ 。11 月份, 微型浮游动物对浮游植物和初级生产力的摄食压力均出现最高值。

**关键词:** 浮游动物; 生物量; 丰度; 微型浮游动物摄食; 三门湾

文章编号: 1000-0933(2006)12-3931-11 中图分类号: Q178.53 文献标识码: A

## Seasonal dynamics of zooplankton and microzooplankton grazing impact in Sanmen Bay, China

LIU Zhen-Sheng<sup>1,2,3</sup>, WANG Chun-Sheng<sup>2,3</sup>, ZHANG Zhi-Nan<sup>1</sup>, LIU Cheng-Gang<sup>2,3</sup>, YANG Guan-Ming<sup>2</sup> (1. College of Marine Life Science, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China; 3. Key Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (12): 3931 ~ 3941.

**Abstract:** The species composition, biomass, abundance and species diversity of zooplankton were determined for samples collected from 12 stations in Sanmen Bay in four cruises from August 2002 to May 2003. Phytoplankton growth and microzooplankton grazing rates were measured by the dilution technique, in which samples were taken at the beginning and end of the experiment for chlorophyll a concentration. We have also analyzed the spatial and temporal variation of zooplankton and its relationship with environmental factors.

The results showed that the zooplankton in Sanmen Bay could be divided into 4 ecological groups, which were named coastal low saline species, estuary brackish water species, off shore warm water species and eurytopic species, respectively. A total of 89 species of zooplankton belong in 67 genera and 16 groups of pelagic larva were identified in Sanmen Bay. The coastal low saline

基金项目: 浙江省海洋开发管理资助项目(Z0201)

收稿日期: 2005-09-12; 修订日期: 2006-03-10

作者简介: 刘镇盛(1960~), 男, 广东汕头人, 博士生, 研究员, 主要从事海洋生态学和海洋生物学研究。E-mail: Zhenshliu@yahoo.com.cn

致谢: 参加此项工作的还有李峰、高生泉、朱根海、蔡昱明、杨俊毅、彭欣、郝镔、王小谷, 等。香港科技大学(Hong Kong University of Science and Technology) Liu Hongbin 博士对本文的写作给予帮助, 在此一并致谢!

Foundation item: The project was financially supported by Ocean Development Administration Foundation of Zhejiang Province (No. Z0201)

Received date: 2005-09-12; Accepted date: 2006-03-10

Biography: LIU Zhen-Sheng, Ph. D. candidate, Professor, mainly engaged in marine ecology and biology. E-mail: Zhenshliu@yahoo.com.cn

species was the dominant ecotype in the study area, and the dominant species were *Calanus sinicus*, *Labidocera euchaeta*, *Tortanus derjugini*, *Acartia pacifica*, *Pseudeuphausia sinica* and *Sagitta bedoti*. There was considerable seasonal variation in zooplankton biomass and abundance in the surveyed area. The peak of biomass appeared in August, followed by November and May, and the lowest biomass appeared in February. Similarly, the highest abundance of zooplankton was observed in August, followed by May, November and February. There were similar horizontal distribution patterns for the biomass and abundance of zooplankton in February and May, in which they both increased from the upper of the bay to the lower of the bay in February and May. However, there were different horizontal distribution patterns for them in August. The peak of biomass appeared in the lower of the bay, while the highest abundance of zooplankton was observed in the upper of the bay in August. Biomass and abundance were distributed evenly in Sanmen Bay in November. Moreover, there was marked seasonal variation in the species diversity of zooplankton, which was conformable to the abundance of zooplankton.

Results from the dilution experiments indicated that there was grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton in Sanmen Bay throughout the year, though the rate of microzooplankton grazing on phytoplankton varied seasonally. Estimates for phytoplankton growth rate ranged from  $0.25$  to  $0.89 \text{ d}^{-1}$ , while microzooplankton grazing rate varied between  $0.18$  and  $0.68 \text{ d}^{-1}$  in different seasons. The growth rate of phytoplankton surpassed grazing rate of microzooplankton in all seasons. Microzooplankton grazed phytoplankton standing stock at a rate of  $16.1$  to  $49.1 \text{ \% d}^{-1}$  and the grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton primary production ranged from  $58.3$  to  $83.6 \text{ \% d}^{-1}$  in different seasons.

**Key words:** zooplankton; biomass; abundance; microzooplankton grazing; Sanmen Bay

三门湾位于浙江沿海中部,其地理位置为  $28^{\circ}57' \sim 29^{\circ}22' \text{ N}$ ,  $121^{\circ}25' \sim 121^{\circ}58' \text{ E}$ 。三门湾南、西、北三面皆峰峦叠嶂,港汊纵横,其流域面积约  $3160 \text{ km}^2$ ,注入三门湾的主要溪流有 30 多条,主要有珠游溪、白溪、清溪等。三门湾海湾总面积约为  $775 \text{ km}^2$ ,湾内水浅,水深一般  $5 \sim 10 \text{ m}$ ,潮滩面积约为  $295 \text{ km}^2$ ,为海洋生物生长繁衍提供优良场所,是浙江省海水养殖的重要基地之一。浮游动物是海洋食物链(网)的关键环节,其种群动态变化制约着浮游植物的群落结构及其种群丰度,也对鱼、虾、贝等海洋生物资源产生直接或间接影响。微型浮游动物摄食压力的变化将对生态系统的物质和能量转化产生影响,因此,研究微型浮游动物摄食压力对海洋生态系统动力学和生物资源持续利用研究有重要意义。20 世纪 80 年代以来,三门湾浮游动物的研究极少<sup>[1~3]</sup>,浮游动物摄食影响的研究未见报道。本文较系统报道三门湾浮游动物群落组成、生物量和丰度的季节变动、优势种的季节演替、多样性指数和浮游动物对浮游植物的摄食影响,同时探讨浮游动物与环境的关系,为三门湾养殖生态和容量评价研究提供基础资料,为三门湾海洋资源可持续利用和发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域和分析方法

2002 年 8 月、11 月、2003 年 2 月和 2003 年 5 月对三门湾浮游动物等多个学科进行 4 个航次的综合调查,湾内共设 12 个大面站(图 1)(S1 ~ S18 站)。用装有进口流量计的浅水 I 型浮游生物网(网口内径  $50 \text{ cm}$ ,网长  $145 \text{ cm}$ ,筛绢孔径为  $505 \mu\text{m}$ )从底至表层垂直拖网采集一次样品,装入  $600 \text{ cm}^3$  的塑料瓶中,水样加  $5 \text{ \%}$  甲醛溶液固定保存。在室内挑去杂物后,以湿重法称量浮游动物生物量,然后在显微镜和体视镜下对样品进行鉴定和计数。分析方法按《海洋调查规范》(GB12763.6-91, 1991)<sup>[4]</sup>的规定实施。

微型浮游动物对浮游植物摄食率的实验采用 Landry & Hassett 创立的稀释培养法<sup>[5]</sup>。其主要方法为:用孔径为  $0.45 \mu\text{m}$  的 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜过滤自然海水,将采集供实验用的自然海水加入过滤海水稀释,稀释度为  $100 \text{ \%}$ 、 $75 \text{ \%}$ 、 $50 \text{ \%}$  和  $25 \text{ \%}$ (稀释度定义:自然海水与过滤海水和自然海水混合后的海水的体积比),然后,将装有不同稀释度海水的培养瓶置于海水中培养  $24 \text{ h}$ ,采集培养前后的水样,用 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜过滤,加  $10 \text{ cm}^3$   $90 \text{ \%}$ (体积分数)丙酮萃取,采用荧光法测定水样的叶绿素 a,计算浮游植物(叶绿素 a)现存量。本实验所用的海水采自于三门湾中部水域。

### 1.2 计算方法

微型浮游动物摄食率主要计算公式为:

$$P_t = P_o e^{(k-dg)t}$$

式中,  $P_t$  是时间  $t$  时浮游植物的现存量,  $P_o$  是开始时刻浮游植物的现存量,  $k$  是浮游植物的生长率,  $g$  是微型浮游动物的摄食率,  $d$  为稀释度<sup>[5]</sup>。

微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力 ( $P_i$ ) 的计算公式为<sup>[6]</sup>:

$$P_i = (1 - e^g) \times 100 \%$$

微型浮游动物对初级生产力的摄食压力 ( $P_p$ ) 的计算公式为<sup>[6]</sup>:

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

多样性指数 ( $H$ ) 和均匀度 ( $J$ ) 的计算采用 Shannon-Weaver 公式和 Pielou 公式:

$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i) \log_2 (P_i)$$

$$J = H / \log_2 S$$

式中  $P_i$  为该站第  $i$  种动物个体数与该站动物总个体数的比值,  $S$  代表该站动物的种类数。

为便于结果分析讨论, 根据三门湾水域的特点, 将三门湾划分为湾顶部 ( $S_{14}$ ,  $S_{15}$ ,  $S_{16}$ )、湾中部 ( $S_7$ ,  $S_9$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{18}$ ) 和湾口海区 ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_5$ ,  $S_{10}$ ) 3 个区域。

## 2 结果和讨论

### 2.1 浮游动物种类组成和群落结构

**2.1.1 种类组成** 研究表明, 三门湾 4 个不同季节共鉴定出浮游动物 15 个类群, 67 属, 89 种和 16 类浮游幼体。其中, 桡足类是优势类群, 种数最多, 为 36 种, 浮游幼体 (包括仔鱼) 16 类, 水螅水母类 15 种, 管水母类、十足类各 6 种, 被囊类、浮游软体动物各 5 种, 毛颚类 4 种, 栉水母类、多毛类、枝角类、糠虾类、端足类各 2 种, 涟虫类和磷虾类各 1 种 (表 1、表 2)。

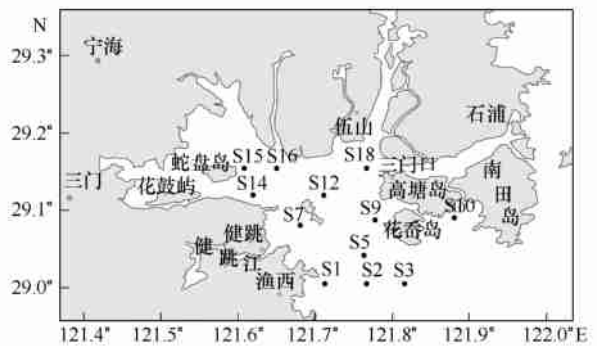


图 1 三门湾调查站位分布图

Fig. 1 Investigation station in Sanmen Bay

表 1 三门湾浮游动物种类组成和季节变化 (2002 年 8 月 ~ 2003 年 5 月)

Table 1 Zooplankton composition and seasonal variation in Sanmen Bay, China (Aug. 2002 to May 2003)

类群 Group	桡足类 Copepoda	水母类 Acacelph	毛颚类 Chaetognatha	浮游幼体 Pelagic larva	其它类 Other groups	总数 Total
2003 年 2 月 Feb. 2003	10			3	2	15
2003 年 5 月 May 2003	16	7	3	12	7	45
2002 年 8 月 Aug. 2002	23	21	4	14	25	87
2002 年 11 月 Nov. 2002	15	4	4	5	8	36

三门湾浮游动物种类数有明显的季节变化。8 月 (夏季), 水温高, 暖水性种类明显增多, 同时, 因湾内潮流运动以往复流为主, 外海水系的入侵强盛, 带来部分外海种, 浮游动物种类多样性明显增加, 共检出浮游动物 73 种和 14 类浮游幼体, 其中, 桡足类和水母类合计有 48 种; 5 月份 (春季), 浮游动物种类数 (33 种和 12 类浮游幼体) 高于 11 月份 (秋季) 的种类数 (31 种和 5 类浮游幼体), 主要系浮游幼体和水母类种数的差异所致; 2 月份, 随着水温的下降, 浮游动物的生长和代谢速率减缓, 绝大多数的暖水性种类 (水母等) 消失, 浮游幼体的种数明显下降, 导致浮游动物种类显著减少, 其种类数为 12 种和 3 类浮游幼体, 种类数为四季最低值。4 个季节浮游动物的种类数排序为: 夏 > 春 > 秋 > 冬。浮游动物在 4 个不同季节的共有种类有 8 个种类, 分别是中华哲水蚤、小拟哲水蚤 *Paracalanus parvus*、真刺唇角水蚤、克氏纺锤水蚤、三叶针尾涟虫 *Diastylis trincincta*、江湖独眼钩虾 *Monoculodes limnophilus*、桡足类无节幼体 Copepods nauplius larva 和短尾类幼虫 *Brachyura larva*。研究

结果表明,浮游动物种类数的季节变化主要取决于桡足类、水母类和浮游幼体这 3 个类群种数的变化,且与水温的变化有关。

表 2 三门湾浮游动物种类名录(2002 年 8 月~2003 年 5 月)

Table 2 Species name of zooplankton in Sanmen Bay (Aug. 2002 to May 2003)

种类 Species	2 月 Feb.	5 月 May	8 月 Aug.	11 月 Nov.
水螅水母类 Hydromedusae				
1. 日本长管水母 <i>Sarsia nipponica</i> Uchida		+		
2. 外肋水母 <i>Ectopleura</i> sp.			+	
3. 耳状囊水母 <i>Euphysa aurata</i> Forbes			+	
4. 灯塔水母 <i>Turritopsis nutricula</i> McCrady			+	
5. 半球美螭水母 <i>Clytia hemisphaericum</i> Linnaeus			+	
6. 蕈枝螭水母 <i>Obelia</i> spp.			+	
7. 拟杯水母 <i>Phialucium</i> sp.			+	
8. 印度八拟杯水母 <i>Octophialucium indicum</i> Kramp			+	
9. 锡兰和平水母 <i>Eirene ceylonensis</i> Browne			+	
10. 八蕊水母 <i>Eutima (Otorchis) gegenbauri</i> Haechel			+	
11. 锥形多管水母 <i>Aequorea conica</i> Browne				+
12. 多管水母 <i>Aeginum</i> sp.			+	
13. 四叶小舌水母 <i>Liriope tetraphylla</i> Chamisso et Eysenhardt		+	+	
14. 八手管水母 <i>Aeginum grimaldii</i> Maas			+	
15. 两手筐水母 <i>Solmundella bitentaculata</i> Quoy et Gaimard		+	+	+
管水母类 Siphonophora				
16. 华丽盛装水母 <i>Agalma elegans</i> Sars			+	
17. 马蹄水母 <i>Hippopodius hippopus</i> Forskal		+		
18. 双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i> Huxley		+	+	
19. 拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i> Lens et Van Riemsdijk		+	+	
20. 五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i> Cunningham			+	
21. 爪室水母 <i>Chelophyes appendiculata</i> Eschscholtz			+	
栉水母类 Ctenophora				
22. 球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i> Moser		+	+	+
23. 瓜水母 <i>Beroe cucumis</i> Fabricius		+	+	+
多毛类 Polychaeta				
24. 太平洋浮蚕 <i>Tomopteris pacifica</i> Lzuka			+	
25. 游蚕 <i>Pelagobia longicirrata</i> Greeff		+		
枝角类 Cladocera				
26. 鸟喙尖头溞 <i>Penilia avirostris</i> Dana			+	
27. 肥胖三角溞 <i>Evadne tergestina</i> Claus			+	
桡足类 Copepods				
28. 中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> Brodsky	+	+	+	+
29. 微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i> Gesbrecht				+
30. 小哲水蚤 <i>Nannocalanus minor</i> Claus				+
31. 亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i> Gesbrecht			+	+
32. 小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i> Claus	+	+	+	+
33. 针刺拟哲水蚤 <i>P. aculeatus</i> Gesbrecht			+	+
34. 微驼隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gracilis</i> Gesbrecht			+	
35. 驼背隆哲水蚤 <i>A. gibber</i> Gesbrecht		+	+	+
36. 弓角基齿哲水蚤 <i>Clausocalanus arcuicornis</i> Dana		+		
37. 精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i> Dana		+	+	+

续表 2

种类 Species	2 月 Feb.	5 月 May	8 月 Aug.	11 月 Nov.
38. 丹氏厚壳水蚤 <i>Scolecithrix danae</i> Lubbock		+	+	+
39. 锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i> Dana			+	
40. 腹针胸刺水蚤 <i>Centropages abdominalis</i> Sato	+			
41. 瘦尾胸刺水蚤 <i>C. tenuiremis</i> Thompson & Scott	+		+	
42. 背针胸刺水蚤 <i>C. dorsispinatus</i> Thompson & Scott			+	
43. 中华胸刺水蚤 <i>C. sinensis</i> Chen & Zhang	+	+		
44. 叉胸刺水蚤 <i>C. furcatus</i> Dana	+			
45. 细巧华哲水蚤 <i>Sinocalanus tenellus</i> Kikuchi		+		
46. 火腿许水蚤 <i>Schmackeria poplesia</i> Shen	+			
47. 伯氏平头水蚤 <i>Candacia bradyi</i> A. Scott		+		
48. 真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i> Gesbrecht	+	+	+	+
49. 左突唇角水蚤 <i>L. sinilobata</i> Shen & Lee			+	
50. 后截唇角水蚤 <i>L. detruncata</i> Dana			+	
51. 叉刺角水蚤 <i>Pontella chierchiai</i> Gesbrecht			+	
52. 腹斧角水蚤 <i>P. securifer</i> Brady			+	
53. 皇筒角水蚤 <i>Pontellopsis regalis</i> Dana			+	
54. 羽小角水蚤 <i>Pontellina plumata</i> Dana			+	
55. 太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i> Steuer		+	+	+
56. 丹氏纺锤水蚤 <i>A. danae</i> Gesbrecht			+	
57. 克氏纺锤水蚤 <i>A. clausi</i> Gesbrecht	+	+	+	+
58. 小纺锤水蚤 <i>A. negligens</i> Dana				+
59. 捷氏歪水蚤 <i>Tortanus derjugini</i> Snironov	+	+		+
60. 大同长腹剑水蚤 <i>Oithona similis</i> Claus		+		
61. 隆剑水蚤 <i>Oncean</i> sp.			+	
62. 小盘盔头猛水蚤 <i>Clytemnestra scutellata</i> Dana		+		+
63. 挪威小毛猛水蚤 <i>Microsetella norvegica</i> Boeck		+	+	
糠虾类 Mysidacea				
64. 短额刺糠虾 <i>Acanthomysis brevirostris</i> Wang & Liu		+	+	+
65. 长额刺糠虾 <i>A. longirostris</i> Li			+	
涟虫类 Cumacea				
66. 三叶针尾涟虫 <i>Diastylis tricineta</i> Zimmer	+	+	+	+
端足类 Amphipoda				
67. 细尖小涂氏城 <i>Tullbergella cuspidata</i> Bovallius			+	+
68. 江湖独眼钩虾 <i>Monoculodes limnophilus</i> Tattersall	+	+	+	+
磷虾类 Euphausiacea				
69. 中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i> Wang & Chen		+	+	+
十足类 Decapoda				
70. 中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i> Hansen			+	
71. 毛虾 <i>Acetes</i> sp.		+	+	+
72. 亨生莹虾 <i>Lucifer hanseni</i> Nobili			+	
73. 莹虾 <i>Lucifer</i> sp.			+	
74. 细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i> Stimpson			+	+
75. 疣背宽额虾 <i>Latreutes planirostris</i> de Haan		+	+	
毛颚类 Chaetognatha				
76. 肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i> Grassi			+	+
77. 拿卡箭虫 <i>S. nagae</i> Alvarino		+	+	+
78. 百陶箭虫 <i>S. bedoti</i> Beraneck		+	+	+
79. 美丽箭虫 <i>S. pulchra</i> Doncaster		+	+	+

续表 2

种类 Species	2 月 Feb.	5 月 May	8 月 Aug.	11 月 Nov.
被囊类 Tunicata				
80. 长尾住囊虫 <i>Oikopleura longicauda</i> Vogt			+	
81. 异体住囊虫 <i>Oikopleura dioica</i> Fol		+		
82. 住囊虫 <i>Oikopleura</i> sp.			+	
83. 软拟海樽 <i>Dolioletta gegenbauri</i> Uljanin			+	
84. 拟海樽 <i>Dolioletta</i> sp.			+	+
浮游软体动物 Pelagic mollusca				
85. 马蹄螺 <i>Limacina trochiformis</i> d'Orbigny			+	
86. 尖笔帽螺 <i>Creseis acicula</i> Rang			+	
87. 球龟螺 <i>Cavolinia globulosa</i> Rang			+	
88. 皮鳃螺 <i>Pneumoderma atlanticum</i> Oken			+	
89. 明螺 <i>Atlanta</i> sp.			+	
浮游幼体 Pelagic larva				
90. 多毛类幼虫 Polychaeta larva		+	+	+
91. 等足类幼虫 Isopoda larva			+	
92. 蔓足类幼虫 Cirripede larva		+	+	
93. 瓣鳃类幼虫 Lamellibranchiata larva		+		
94. 腹足类后期幼虫 Gastropoda post larva		+	+	+
95. 藤壶幼虫 Balanus larva			+	
96. 桡足类无节幼体 Copepods nauplius larva	+	+	+	+
97. 磷虾类幼体 Euphausiacea larva		+	+	+
98. 磁蟹蚤状幼虫 Porcellana zoea larva		+	+	
99. 短尾类幼虫 Brachyura larva	+	+	+	+
100. 龙虾幼体 Palinurus larva		+		
101. 口足类阿利玛幼体 Squillidae alima larva			+	
102. 蛇尾长腕幼虫 Ophiopluteus larva			+	
103. 鲱科仔鱼 Clupeidae gen. spp.	+	+	+	
104. 鳊鱼 <i>Engraulis japonicus</i> Temminck et Schlegel		+	+	
105. 鰕虎鱼科仔鱼 Gobiidae gen. spp.		+	+	

**2.1.2 群落结构** 三门湾是半封闭的强潮海湾,平均潮差 4.25m,水体与湾外海水交换良好,然而,三门湾港汊纵横,沿岸径流量大,水体交换过程相对复杂,浮游动物在生态属性上呈多样性,根据它们的分布特点,可分为 4 个生态类群:

(1) 近岸低盐类群 其出现频率和数量变动常受沿岸水的影响,该类群是三门湾的优势类群,种数最多,约占浮游动物总种数的 60%。主要代表种有中华哲水蚤、真刺唇角水蚤、太平洋纺锤水蚤、捷氏歪水蚤、中华假磷虾、百陶箭虫和那卡箭虫等。

(2) 半咸水河口类群 该类群种数和丰度均较少,通常季节性出现在港汊和河口水域,主要种有火腿许水蚤、江湖独眼钩虾、短额刺糠虾和长额刺糠虾等。

(3) 暖水性外海类群 该类群种数较多,丰度低,在夏、秋季随外海高盐水进入湾口区,尤其对夏季浮游动物种类组成起重要作用,主要种有精致真刺水蚤、丹氏厚壳水蚤、后截唇角水蚤、羽小角水蚤和肥胖箭虫等。

(4) 广布种 适盐和适温范围较广的种类,本类群种数稀少,丰度低,主要种有小拟哲水蚤(四季常见种)、大同长腹剑水蚤和拟海樽等。

## 2.2 浮游动物生物量和丰度的季节变化

浮游动物 4 个季节生物量平均值为 171.70 mg/m<sup>3</sup>,明显高于乐清湾(71.37mg/m<sup>3</sup>)的生物量<sup>[6]</sup>,生物量有明显的季节变化。8 月份,表层平均水温达 28.36,随着水温升高,浮游动物生长繁殖速率上升,浮游动物种类

和丰度明显增多,尤其水母类出现频率显著上升,因此,生物量为4个季节的最高值,达 $378.31 \text{ mg/m}^3$ ;2月份,三门湾水温低,表层平均水温为 $10.08$ ,浮游动物种类数明显减少,水母类和毛颚类在采集样品中未检出,生物量明显下降,为四季的最低值,仅 $36.98 \text{ mg/m}^3$ ;11月份高于5月份,生物量分别为 $138.20 \text{ mg/m}^3$ 和 $133.31 \text{ mg/m}^3$ (图2)。

浮游动物丰度四季的平均值为 $161.80 \text{ ind/m}^3$ ,也高于乐清湾( $72.96 \text{ ind/m}^3$ )的丰度<sup>[7]</sup>,丰度有明显季节变化。8月份,浮游动物种类数最多,尤其桡足类和浮游幼体的种数和丰度显著增加,这两大类群对浮游动物丰度的贡献突出,导致浮游动物的丰度成为四季的最高值,达 $383.68 \text{ ind/m}^3$ ;2月份,随着水温的下降,暖水性种类消失,浮游动物生长繁殖速率降低,丰度为四季的最低值,仅为 $46.85 \text{ ind/m}^3$ ;5月份略高于11月份,浮游动物丰度分别为 $153.28 \text{ ind/m}^3$ 和 $63.37 \text{ ind/m}^3$ (图2)。

### 2.3 浮游动物生物量的平面分布

2003年5月,浮游动物的生长代谢速率加快,浮游幼体种类明显增加,尤其出现多种个体较大的水母,使生物量明显上升,湾中部S12站出现生物量高值区( $202.22 \text{ mg/m}^3$ ),从湾顶向湾口海区,生物量呈逐渐上升趋势(表3、图3a)。

2002年8月,浮游动物种数最多,水母出现频率非常高,其种数达14种,导致生物量普遍升高,最高值出现在湾口区S10站( $958.33 \text{ mg/m}^3$ )。湾口海区生物量最高,湾顶部生物量略高于湾中部生物量(表3、图3b)。

2002年11月,浮游动物生物量逐渐下降,其平面分布相对均匀,趋势不明显(表3、图3c)。

2003年2月,随着暖水性种类消失,浮游动物种类数明显下降,水母类在样品中未检出,生物量均较低。

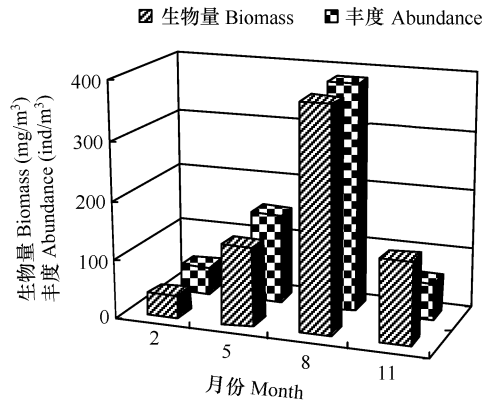


图2 浮游动物生物量和丰度的季节变化

Fig.2 Seasonal variation of biomass and abundance of zooplankton

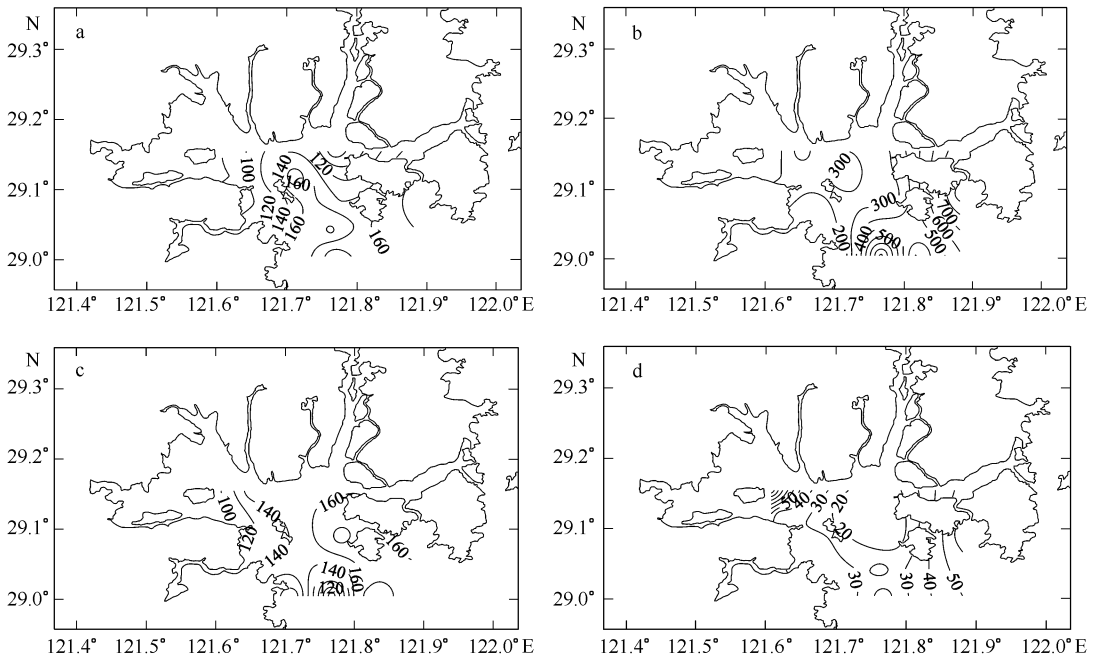


图3 浮游动物生物量( $\text{mg/m}^3$ )的平面分布

Fig.3 Horizontal distribution of zooplankton biomass( $\text{mg/m}^3$ )

(a) 5月 May; (b) 8月 August; (c) 11月 November; (d) 2月 February

湾顶部生物量最高,尤其 S15 站,生物量达  $106.67\text{mg}/\text{m}^3$ ,湾中部生物量最低(表 3、图 3d)。

表 3 浮游动物生物量和丰度的季节变化(2002-08~2003-05)

Table 3 Seasonal variation of biomass and abundance of zooplankton (Aug. 2002 to May 2003)

参数 Parameter	生物量 Biomass ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )			平均值 Mean ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	丰度 Abundance ( $\text{ind}/\text{m}^3$ )			平均值 Mean ( $\text{ind}/\text{m}^3$ )
	湾顶部 Upper of the bay	湾中部 Middle of the bay	湾口 Lower of the bay		湾顶部 Upper of the bay	湾中部 Middle of the bay	湾口 Lower of the bay	
5 月 May	88.90	126.50	165.40	133.31	125.40	133.50	185.80	153.28
8 月 Aug.	284.18	252.20	574.72	378.31	436.86	380.28	347.21	383.68
11 月 Nov.	115.12	153.11	140.13	138.20	66.73	59.99	64.06	63.37
2 月 Feb.	61.95	17.08	38.16	36.98	90.14	23.68	37.55	46.85

## 2.4 浮游动物丰度的平面分布和变化

2003 年 5 月,浮游幼体的种类和数量逐渐增加,浮游动物丰度上升,湾口区 S1 站出现丰度最高值 ( $250\text{ind}/\text{m}^3$ ),丰度的分布与生物量的分布趋势基本一致,从湾顶向湾口海区,丰度逐渐上升(表 3、图 4a)。

2002 年 8 月,浮游幼体和暖水性种类明显增多,浮游动物的丰度普遍较高,湾中部 S12 站的丰度高达  $628.82\text{ind}/\text{m}^3$ ,丰度分布趋势与生物量的不同,从湾顶向湾口海区,丰度呈下降趋势(表 3、图 4b)。

2002 年 11 月,浮游动物丰度的分布相对均匀,趋势不明显(表 3、图 4c)。

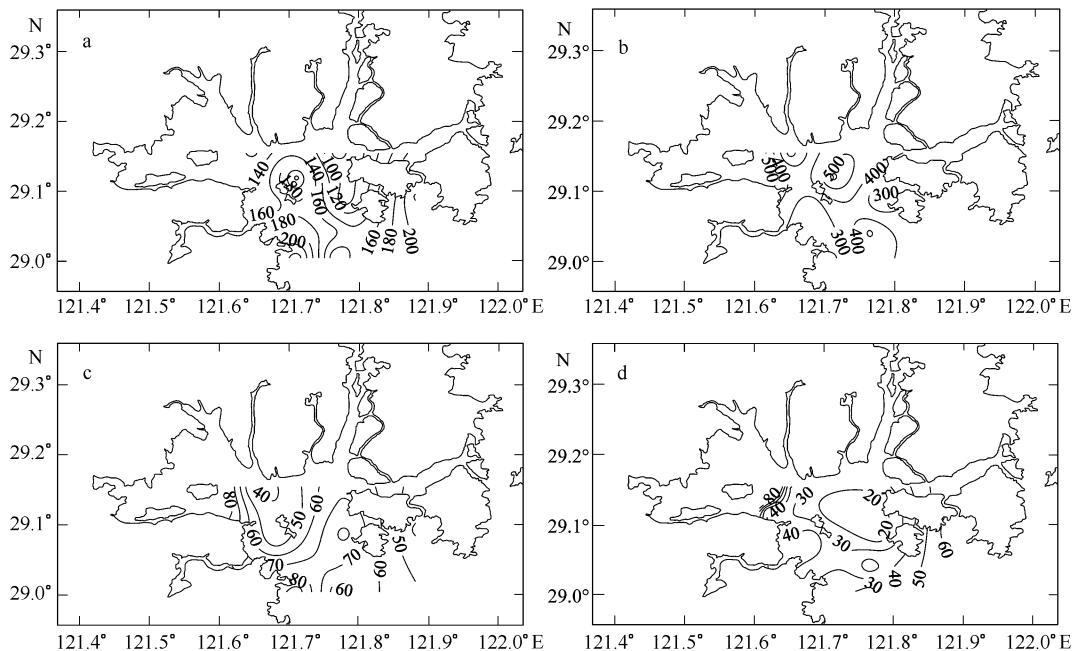


图 4 浮游动物丰度 ( $\text{ind}/\text{m}^3$ ) 的平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of zooplankton abundance ( $\text{ind}/\text{m}^3$ )

(a) 5 月 May; (b) 8 月 August; (c) 11 月 November; (d) 2 月 February

2003 年 2 月,浮游动物的丰度较低,平均为  $46.85\text{ind}/\text{m}^3$ ,丰度最高值出现在湾顶部蛇盘岛邻近水域的 S15 站,丰度达  $193.33\text{ind}/\text{m}^3$ 。丰度的分布与生物量的分布趋势相似,湾顶部丰度高,湾口海区次之,湾中部丰度最低(表 3、图 4d)。

浮游动物与其它环境因子相关分析的研究表明:8 月份,浮游动物丰度与总无机氮之间呈现正相关(图 5a),这与夏季浮游植物繁殖速率快,代谢旺盛,需要大量的营养盐支持有关,其它季节丰度与总无机氮之间不存在相关关系。2 月份,浮游动物丰度与叶绿素 a 浓度之间呈现显著正相关(图 5b),由于冬季浮游植物的生长代谢速率低,叶绿素 a 浓度普遍较低,因此,浮游动物的生长繁殖受制于浮游植物的现存量。从相关分析结



果看,浮游动物丰度与环境因子的相关关系不显著。

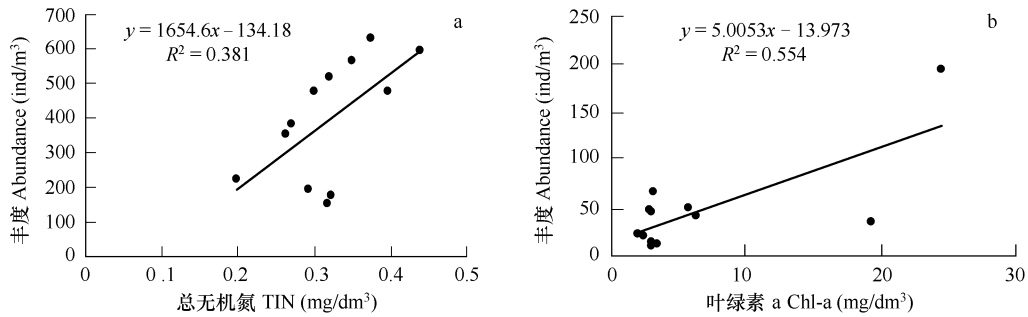


图5 浮游动物丰度与环境参数的关系

Fig. 5 Correlations between zooplankton abundance and environmental parameter

(a) 2002年8月 Aug. 2002; (b) 2003年2月 Feb. 2003; (a) 丰度-总无机氮 Abundance-TIN; (b) 丰度-叶绿素 a Abundance-Chla

## 2.5 浮游动物优势种的季节演替

三门湾浮游动物优势种类是近岸低盐类群,中华哲水蚤、驼背隆哲水蚤和短尾类幼体是最主要的优势种,不同季节,随着水温、盐度和营养盐等环境因子的变动,优势种有明显季节演替现象(表4)。

5月份,优势种为中华哲水蚤、真刺唇角水蚤和短尾类幼体,这3个优势种的丰度之和占浮游动物总丰度的40%,湾口海区形成由中华哲水蚤和短尾类幼体为优势种的高丰度区,磷虾类幼体丰度也占较高比例;8月份,驼背隆哲水蚤占绝对优势,研究海区平均丰度达100 ind/m<sup>3</sup>,占浮游动物总丰度的26.05%,丹氏纺锤水蚤和短尾类幼虫的丰度在湾顶部形成高值区,短额刺糠虾也有较高丰度;11月份,中华哲水蚤为优势种,其丰度占浮游动物总丰度的20.49%,主要分布在湾口区,其它优势种还有驼背隆哲水蚤和太平洋纺锤水蚤;2月份,优势种为腹针胸刺水蚤,平均丰度为15.32 ind/m<sup>3</sup>,占浮游动物总丰度的32.69%,主要分布在湾顶部,捷氏歪水蚤和三叶针尾涟虫(分布在湾中部)优势明显。分析4个季节浮游动物种群结构变化特征,结果表明,浮游动物优势种的季节演替主要与水温、盐度等环境因子的变动有关。

## 2.6 多样性指数和均匀度

三门湾浮游动物种类的多样性指数有明显季节变化。8月份,多样性指数最高,平均达3.54,浮游动物的种数(73种和14类浮游幼体)、丰度和生物量均为四季最高值。2月份,多样性指数最低,平均仅为1.64,浮游动物的种数(12种和3类浮游幼体)、丰度和生物量均为四季最低值。5月份的多样性指数(3.44)高于11月份(3.00),这与浮游动物种数、丰度的季节变化一致,而5月份浮游动物生物量低于11月份的生物量,主要因个体较小的浮游幼体在浮游动物总丰度中占较大的比例导致的结果。三门湾浮游动物4个季节的均匀度均较高,四季均值变化范围为:0.72~0.84,由此可推断,三门湾浮游动物种群组成相对均匀,均匀度变化幅度小,其平均值高低依次为:2月份>11月份>5月份>8月份(表5)。

## 2.7 微型浮游动物的摄食影响

近几年,稀释法已成为国际测定浮游植物死亡率的标准技术<sup>[8~12]</sup>,全球海洋通量研究计划(JGOFS)也推荐稀释法作为研究微型浮游动物摄食的方法,国内对稀释法的研究也开展一些研究工作<sup>[7,13]</sup>。稀释实验研究结果表明,三门湾微型浮游动物的摄食率、对浮游植物和初级生产力的摄食压力均具有季节变化。在4个不

表4 浮游动物优势种的季节变化(2002年8月~2003年5月)

Table 4 Seasonal variation of dominant species of zooplankton (Aug. 2002 to May 2003)

季节 Season	优势种 Dominant species	占总丰度百分比(%) In the percentage of total abundance
5月 May	中华哲水蚤、真刺唇角水蚤、短尾类幼虫	40
8月 August	驼背隆哲水蚤、丹氏纺锤水蚤、短尾类幼虫	42
11月 November	中华哲水蚤、驼背隆哲水蚤、太平洋纺锤水蚤	42
2月 February	腹针胸刺水蚤、捷氏歪水蚤、三叶针尾涟虫	65

同季节中,浮游植物的生长率均高于相同季节的浮游动物的摄食率,且浮游植物生长率大于浮游动物摄食率的变化范围。11月份,浮游植物的生长率出现四季最高值,为 $0.89d^{-1}$ ,同期,微型浮游动物的摄食率、微型浮游动物对浮游植物和初级生产力的摄食压力均出现四季最高值,分别为 $0.68d^{-1}$ 、 $49.1\%d^{-1}$ 和 $83.6\%d^{-1}$ 。微型浮游动物的摄食率及对浮游植物的摄食压力的最低值均出现在5月份(春季),其值分别为 $0.18d^{-1}$ 和 $16.1\%d^{-1}$ ,这与浮游植物生长率的最低值出现的季节一致,由此推论,微型浮游动物对浮游植物摄食影响与浮游植物的生长率之间形成动态平衡。然而,微型浮游动物对初级生产力的摄食压力在8月份出现最低值,为 $58.3\%d^{-1}$ ,主要系同期浮游植物高生长率( $0.79d^{-1}$ )和微型浮游动物较低摄食率( $0.38d^{-1}$ )的共同影响的结果。目前,国外大量研究结果表明,微型浮游动物摄食浮游植物现存量的0~75%,摄食初级生产力的5%~100%,三门湾的研究结果与已报道文献的摄食影响范围相近(表6、表7)。

通常,浮游植物的细胞叶绿素含量受光照、营养盐和水温控制。采用叶绿素a测定法可能因培养瓶中浮游植物在培养期间的光适应引起细胞荧光的变化,导致高估或低估浮游植物的生长率。培养瓶中浮游植物不同类群的组成也对测定结果产生影响。为了更好地理解海洋生态系统复杂食物网不同营养级的相互作用,已发展同时测定浮游植物特定类群的生长和死亡率的方法,其中方法之一就是稀释法结合高效液相色谱色素分析法<sup>[14]</sup>。近10a,国外应用流式细胞测定仪分析稀释法实验中超微型浮游植物类群的生长和死亡率的研究已有报道<sup>[15,16]</sup>,由于分析仪器和实验条件的限制,相关的研究工作有待于进行。

### 3 结论

**3.1** 三门湾4个航次共鉴定出浮游动物15个类群,67属,89种和16类浮游幼体,其中,桡足类种数最多,为36种,其次是水母类有23种,浮游幼体(包括仔鱼),有16类。浮游动物种类数有明显的季节变化,8月份种类(73种和14类浮游幼体)最多,主要是受温度和外海水入侵共同影响的结果。

**3.2** 浮游动物生态类型主要可分为4个类群:近岸低盐类群、半咸水河口类群、暖水性外海种和广布种,其中近岸低盐类群是三门湾的优势类群,占浮游动物种类总数的60%左右,其它各类群数量较少。浮游动物的优势种有季节演替现象,中华哲水蚤和驼背隆背水蚤是最常见的优势种。

**3.3** 浮游动物生物量四季的平均值为 $171.70mg/m^3$ ,生物量的季节变化明显,8月份的生物量最高( $378.31mg/m^3$ ),2月份的生物量最低( $36.98mg/m^3$ ),11月份高于5月份。生物量的平面分布特征:5月份,从湾顶向湾口生物量呈上升趋势;8月份,湾口区生物量最高,湾顶部生物量高于湾中部生物量;11月份,生物量分布相对

表5 浮游动物多样性指数的季节变化(2002年8月~2003年5月)

Table 5 Seasonal variation of diversity index of zooplankton (Aug. 2002 to May 2003)

季节 Season	多样性指数 Diversity index (H)		均匀度平均值 Mean of Evenness(J)
	平均值 Mean	变化范围 Range	
5月 May	3.44	2.57~3.97	0.79
8月 August	3.54	2.44~4.02	0.72
11月 November	3.00	2.68~3.26	0.83
2月 February	1.64	0.81~2.65	0.84

表6 三门湾微型浮游动物对浮游植物和初级生产力的摄食压力(2002年8月~2003年5月)

Table 6 Grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton and primary production in Sanmen Bay, China (Aug. 2002 to May 2003)

季节 Season	微型浮游动物摄食率 Microzooplankton grazing rate ( $d^{-1}$ )	对浮游植物的 摄食压力 Grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton ( $\%d^{-1}$ )	对初级生产力的 摄食压力 Grazing pressure of microzooplankton on primary production ( $\%d^{-1}$ )
	5月 May	0.18	16.1
8月 August	0.38	31.9	58.3
11月 November	0.68	49.1	83.6
2月 February	0.41	33.4	73.7

表7 不同海区用稀释培养法实验的结果比较

Table 7 Comparison of results of dilution experiments in different waters of the world

研究海区 Study area	浮游植物的 生长率 Phytoplankton growth rate ( $d^{-1}$ )	微型浮游动 物的摄食率 Microzooplankton grazing rate ( $d^{-1}$ )	参考文献 Reference
Kaneohe Bay, Hawaii USA	1.2~2.0	0.1~1.1	[8]
Hiroshima Bay, Japan	0.26~1.88	0.20~1.39	[9]
Monterey Bay, Canada	0.53~1.30	0.23~0.79	[10]
Fourleague Bay, Louisiana USA	0.46~2.14	0.32~2.11	[11]
Western Gulf of St. Lawrence, USA	0.41~1.09	0.34~0.55	[12]
渤海 Bohai Sea, China	0.23~0.73	0.43~0.69	[13]
乐清湾 Yueqing Bay, China	0.26~2.07	0.15~0.48	[7]
三门湾 Sanmen Bay, China	0.25~0.89	0.18~0.68	This paper

均匀;2月份,湾顶部生物量最高,湾口区高于湾中部。

**3.4 浮游动物丰度四季的平均值为**  $161.80 \text{ ind/m}^3$ , 8月份的丰度最高( $383.68 \text{ ind/m}^3$ ), 2月份的丰度最低( $46.85 \text{ ind/m}^3$ ), 5月份高于11月份。丰度的平面分布特征:5月份,从湾顶向湾口丰度呈上升趋势;8月份,从湾顶向湾口区丰度逐渐下降;11月份,丰度分布相对均匀;2月份,湾顶部丰度最高,湾口区丰度高于湾中部丰度。

**3.5 浮游动物种类多样性指数有明显的季节变化,多样性指数高低依次为:**8月份 > 5月份 > 11月份 > 2月份,其动态变化与浮游动物种数和丰度的变化一致。浮游动物均匀度高低依次为:2月份 > 11月份 > 5月份 > 8月份。

**3.6 微型浮游动物摄食率、浮游植物的生长率、微型浮游动物对浮游植物和初级生产力的摄食压力有季节变化,微型浮游动物的摄食率低于相同季节的浮游植物生长率。11月份,浮游植物的生长率、微型浮游动物的摄食率、微型浮游动物对浮游植物和初级生产力的摄食压力均为四季的最高值。微型浮游动物对浮游植物摄食影响与浮游植物的生长率之间形成动态平衡。**

## References:

- [ 1 ] Editorial Committee of Survey Report on the Coastal Zone of Zhejiang Province and its Natural Resources. Survey report on the coastal zone of Zhejiang Province and its natural resources. Beijing: China Ocean Press, 1988. 151 ~ 174.
- [ 2 ] Edition Committee of the Bay Chorography in China. The bay chorography in China. Beijing: China Ocean Press, 1992, 5: 291 ~ 302.
- [ 3 ] Liu Z S, Wang C S. Distribution and seasonal variation of zooplankton in Sanmen Bay. In: Ning X R *et al.* Study on the impacts of aquaculture ecosystem and assessment of the aquaculture carrying capacity in Yueqing Bay and Sanmen Bay, China. Beijing: China Ocean Press, 2005. 160 ~ 168.
- [ 4 ] State Administration Bureau of Technical Supervision. The specification for oceanographic survey: Marine Biology. National Standard of People's Republic of China GB 12763.6-91. Beijing: China Standardization Press, 1991.
- [ 5 ] Landry M R and Hassett R P. Estimating the grazing impact of marine microzooplankton. *Mar. Biol.*, 1982, 67: 283 ~ 288.
- [ 6 ] Zhang W C, Wang R. Grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton and primary production in marine ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(8): 1360 ~ 1368.
- [ 7 ] Liu Z S, Wang C S, Zhang Z N, *et al.* Seasonal dynamics and grazing rate of zooplankton in Yueqing Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 1853 ~ 1862.
- [ 8 ] Landry M R, Hass L W, Fagerness V L. Dynamics of microbial plankton communities: experiments in Kaneohe Bay, Hawaii. *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. *Mar. Biol.*, 1994, 119: 77 ~ 88.
- [ 10 ] Waterhouse T Y, Welschmeyer N A. Taxon-specific analysis of microzooplankton grazing rates and phytoplankton growth rates. *Limnology and Oceanography*, 1995, 40: 827 ~ 834.
- [ 11 ] Dagg M J. Ingestion of phytoplankton by the micro- and mesozooplankton communities in a productive subtropical estuary. *J. Plankton Res.*, 1995, 17: 845 ~ 857.
- [ 12 ] Tamigneaux E, Mingelbier M, Klein B, *et al.* Grazing by protists and seasonal changes in the size structure of protozooplankton and phytoplankton in a temperate nearshore environment (western Gulf of St. Lawrence, Canada). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1997, 146: 231 ~ 247.
- [ 13 ] Wang R, Li C, Wang K, *et al.* Feeding activities of zooplankton in the Bohai Sea. *Fishing Oceanography*, 1998, 7: 265 ~ 271.
- [ 14 ] Latasa M, Landry M R, Schluter L, *et al.* Pigment-specific growth and grazing rates of phytoplankton in the central equatorial Pacific. *Limnology and Oceanography*, 1997, 42: 289 ~ 298.
- [ 15 ] Landry M R, Krisstein J, Constantinou J. A refined dilution technique for measuring the community grazing impact of microzooplankton, with experimental tests in the central equatorial Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1995, 120: 53 ~ 63.
- [ 16 ] Liu H B, Suzuki K, Saino T. Phytoplankton growth and microzooplankton grazing in the subarctic Pacific Ocean and the Bering Sea during summer 1999. *Deep-Sea Research Part I*, 2002, 49: 363 ~ 375.

## 参考文献:

- [ 1 ] 浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告编写委员会, 浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京:海洋出版社, 1988. 151 ~ 174.
- [ 2 ] 中国海湾志编纂委员会,《中国海湾志》第五分册. 北京:海洋出版社, 1992. 291 ~ 302.
- [ 3 ] 刘镇盛,王春生. 三门湾浮游动物的分布和季节变化. 见:宁修仁等著. 乐清湾、三门湾养殖生态和养殖容量研究与评价. 北京:海洋出版社, 2005. 160 ~ 168.
- [ 4 ] 国家技术监督局. 海洋调查规范, 海洋生物调查. 中华人民共和国国家标准(GB12763.6-91). 北京:中国标准出版社, 1991.
- [ 6 ] 张武昌,王荣. 海洋微型浮游动物对浮游植物和初级生产力的摄食压力. *生态学报*, 2001, 21(8): 1360 ~ 1368.
- [ 7 ] 刘镇盛,王春生,张志南,等. 乐清湾浮游动物的季节变动及摄食率. *生态学报*, 2005, 25(8): 1853 ~ 1862.