

乐清湾浮游动物的季节变动及摄食率

刘镇盛^{1,2,3}, 王春生^{2,3}, 张志南¹, 蔡昱明^{2,3}, 张东声²

(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 海底科学重点实验室, 杭州 310012)

摘要: 2002 年 8 月、11 月、2003 年 2 月和 5 月, 在乐清湾进行了 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率进行研究。结果表明, 乐清湾已鉴定的浮游动物有 56 属, 75 种, 17 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, 其优势种为真刺唇角水蚤 *Labidocera euchaeta*、太平洋纺锤水蚤 *Acartia pacifica*、驼背隆哲水蚤 *Acrocalanus gibber*、中华假磷虾 *Pseudeuphausia sinica* 和百陶箭虫 *Sagitta bedoti* 等, 半咸水河口类群、暖水性外海种和广布种的种数相对较少。浮游动物生物量和丰度的平面分布趋势基本一致, 有明显季节变化。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, 生物量和丰度的分布与 2 月份、5 月份的分布趋势不同, 从湾顶向湾口, 生物量和丰度逐渐降低; 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, 且摄食率有季节变化, 摄食率的变化在 $0.15 \sim 0.48 d^{-1}$ 。

关键词: 浮游动物; 生物量; 丰度; 摄食率; 乐清湾

文章编号: 1000-0933(2005)08-1853-10 **中图分类号:** Q178.53 **文献标识码:** A

Seasonal dynamics and grazing rate of zooplankton in Yeqing Bay

LIU Zhen-Sheng^{1,2,3}, WANG Chun-Sheng^{2,3}, ZHANG Zhi-Nan¹, CAI Yu-Ming^{2,3}, ZHANG Dong-Sheng²

(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 Lab. of Submarine Geosciences, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China).
Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(8): 1853~1862.

Abstract: The species composition, biomass, abundance and species diversity of zooplankton were determined for samples collected from 14 stations in Yeqing Bay from August 2002 to May 2003. Phytoplankton growth rate and microzooplankton grazing rate were obtained using the dilution method developed by Landry and Hassett. We have also analyzed the spatial and temporal variation of zooplankton and its relationship with environmental factors. The results showed that the zooplankton in Yeqing Bay could be divided into 4 ecotypes, which were named coastal low saline species, estuary brackish water species, off shore warm water species and eurytopic species, respectively. A total of 75 species of zooplankton belonged to 56 genera and 17 groups of pelagic larva were identified in Yeqing Bay. The coastal low saline species was the dominant ecotype in the study area, and the dominant species were *Labidocera euchaeta*, *Acartia pacifica*, *Acrocalanus gibber*, *Pseudeuphausia sinica* and *Sagitta bedoti* etc.

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

基金项目: 浙江省海洋开发管理资助项目 (ZJ0201)

收稿日期: 2004-09-16; **修订日期:** 2005-05-31

作者简介: 刘镇盛 (1960~), 男, 广东汕头市人, 博士生, 副研究员, 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、刘诚刚、杨俊毅、彭欣、郝镔、王小谷等; 美国路易斯安那大学 (Louisiana University) Liu Hongbin 博士也对本文的写作给予帮助, 在此一并致谢!

Foundation item: Ocean Development Administration Foundation of Zhejiang Province (No. ZJ0201)

Received date: 2004-09-16; **Accepted date:** 2005-05-31

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

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. They both increased from the upper of the bay to the lower of the bay in February and May, but decreased from upper bay to lower bay in August. Biomass and abundance were distributed evenly in Yeqing 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 indicate that there was grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton in Yeqing Bay throughout the year, though the rate of microzooplankton grazing on phytoplankton varied seasonally. Phytoplankton were growing at $0.26\sim 2.07\text{d}^{-1}$ and grazed by microzooplankton at a rate of $0.15\sim 0.48\text{d}^{-1}$ in different seasons.

Key words: zooplankton; biomass; abundance; grazing rate; Yeqing Bay

乐清湾位于浙江南部沿海,瓯江口北侧,其地理位置为 $27^{\circ}59'\sim 28^{\circ}24'N, 120^{\circ}58'\sim 121^{\circ}17'E$ 之间。乐清湾三面环陆,属半封闭性海湾,其流域面积约 1470km^2 ,注入乐清湾的山溪性河流有 30 余条,主要有大荆溪、白溪、雁芙溪(清江)、淡水溪、坞根溪、楚门河等。乐清湾岸线以下,海湾总面积约为 463.6km^2 。湾内水浅,平均水深 10m 左右,海涂面积约为 220.8km^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网的关键环节,其种群动态变化制约着初级生产力的规模和节律,也影响鱼类等水产资源的变动,微型浮游动物摄食率的大小将对生态系统的物质和能量转化产生影响,在海洋生态系统的物质循环和能量流动中起着重要作用。20 世纪 80 年代以来,乐清湾浮游动物的研究极少^[1,2],迄今为止,关于乐清湾浮游动物种群季节变动和摄食率的研究未见报道。本文报道乐清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率,同时探讨浮游动物与环境的关系,为乐清湾养殖生态和容量评价研究提供基础资料,为乐清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 月对乐清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 14 个大面站(图 1)(Y1~Y20 站)。用装有进口流量计的浅水 I 型浮游生物网(网口内径 50cm,网长 145cm,筛绢孔径为 $505\mu\text{m}$)从底至表层垂直拖网采集 1 次样品,装入 600cm^3 的塑料瓶中,水样加 5% 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)^[3]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^[4]。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过滤海水稀释,稀释度为 100%、75%、50% 和 25% (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,进行测定。本实验所需的海水采自于乐清湾中部水域。

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。

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,根据乐清湾水域的特点,将乐清湾分为湾顶部(Y16, Y18, Y19, Y20)、湾中部(Y8, Y10, Y11, Y12, Y14, Y15)和湾口区(Y1, Y2, Y4, Y6) 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,乐清湾 4 个不同季节共鉴定出浮游动物 16 个类群,56 属,75 种和 17 类浮游幼体。其中,桡足类是优势类群,种数最多,为 28 种,浮游幼体(包括仔鱼)17 类,水螅水母类 11 种,十足类 6 种,毛颚类、管水母类各 4 种,糠虾类、被囊类和浮游贝类各 3 种,栉水母类、多毛类、介形类、枝角类、涟虫类和端足类各 2 种,磷虾类 1 种(表 1、表 2)。

乐清湾浮游动物种类数有明显的季节变化。8月(夏季),水温较高,暖水性种类明显增多,同时,外海水系的入侵强盛,带来部分外海种,因而浮游动物种类最多,为64种和14类浮游幼体,其中,桡足类、水母类和浮游幼体3个类群有50种;5月(春季),浮游动物种类数(27种和10类浮游幼体)略高于11月(秋季)的种类数(25种和6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,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16种和6类浮游幼体。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为10种,分别是中华哲水蚤 *Calanus sinicus*、针刺拟哲水蚤 *Paracalanus aculeatus*、真刺唇角水蚤、捷氏歪水蚤 *Tortanus derjugini*、短额刺糠虾 *Acanthomysis brevirostris*、江湖独眼钩虾 *Monoculodes limnophilus*、毛虾 *Acetes* sp.、桡足类无节幼体 *Copepoda nauplius larva*、短尾类幼虫 *Brachyura larva* 和多毛类幼体 *Polychaeta larva*。研究结果表明,浮游动物种数的变化主要取决于桡足类、浮游幼体和水母类这3个类群种数的变化(表1)。

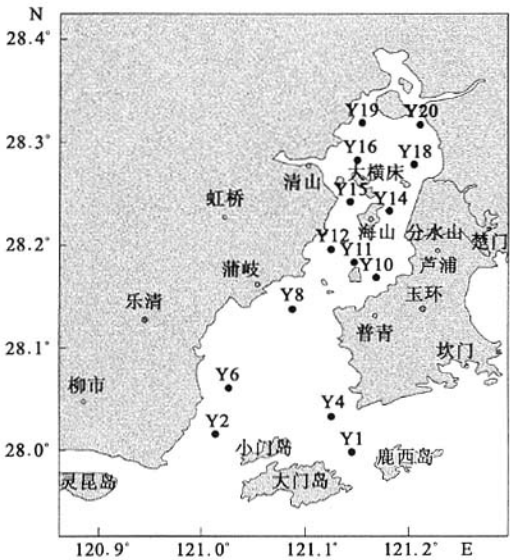


图1 乐清湾调查站位分布图
Fig.1 Investigation station in Yeqing Bay

表1 乐清湾浮游动物种类组成和季节变化(2002.8~2003.5)						
Table 1 Zooplankton composition and seasonal variation in Yeqing Bay(Aug. 2002 to May 2003)						
类群 Group	桡足类 Copepoda	水母类 Acalephe	毛颚类 Chaetognatha	浮游幼体 Pelagic larva	其它类 Other group	总数 Total
2002年5月 May 2003	8	7	3	10	9	37
2002年8月 Aug. 2002	22	14	4	14	24	78
2002年11月 Nov. 2002	12	2	4	6	7	31
2003年2月 Feb. 2003	11			6	5	22

2.1.2 群落结构 乐清湾浮游动物主要可分为4个生态类型。

近岸低盐类群 其出现频率和数量变化常受控于沿岸水的影响,该类群是乐清湾的优势类群,种数众多,约占浮游动物总种数的65%。主要代表种有真刺唇角水蚤、针刺拟哲水蚤、捷氏歪水蚤、太平洋纺锤水蚤、细长涟虫、中华假磷虾、百陶箭虫和那卡箭虫等。

半咸水河口类群 该类群种类和数量均较少,通常季节性出现,主要有江湖独眼钩虾、短额刺糠虾和长额刺糠虾等。

暖水性外海种 该类群丰度较低,种数较多,在夏、秋季随外海高盐水进入湾口海区,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、亚强真哲水蚤、普通波水蚤和肥胖箭虫等。

广布种 适盐和适温范围较广的种类,本类群稀少,主要有小拟哲水蚤和拟海樽等。

2.2 浮游动物生物量和丰度的季节变化

浮游动物生物量 4个季节的平均值为71.37 mg/m³。8月份,浮游动物种类和丰度明显上升,尤其个体较大的水母类的种群出现的频率显著增加,因而,生物量为4个季节的最高值,达150.78 mg/m³;2月份,浮游动物种类数明显减少,个体较大的水母类和毛颚动物未检出,导致生物量下降,其生物量为四季的最低值,仅14.87 mg/m³;11月高于5月,生物量分别为83.05 mg/m³和36.50 mg/m³(图2)。

浮游动物丰度四季的平均值为72.96 ind/m³,有季节变化。8月份,由于浮游动物种类数最多,桡足类和浮游幼体的种数和丰度明显增加,这两大类群对丰度的贡献显著,使浮游动物的丰度成为四季的最高值,达160.32ind/m³;2月份,水温低,暖水性种类消失,浮游动物生长繁殖速率下降,丰度为四季的最低值,仅为11.64ind/m³;5月份略高于11月份,浮游动物丰度分别为61.14ind/m³和58.75ind/m³(图2)。

表 2 乐清湾浮游动物种类名录(2002. 8~2003. 5)

Table 2 Species name of zooplankton in Yeqing 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. 灯塔水母 <i>Turritopsis nutricula</i> McCrady			+	
2. 不列颠高手水母 <i>Bougainvillia britannica</i> (Forbes)		+		
3. 半球美螅水母 <i>Clytia hemisphaericum</i> (Linnaeus)			+	
4. 美螅水母 <i>Clytia</i> sp.			+	
5. 藪枝螅水母 <i>Obelia</i> spp.			+	
6. 拟杯水母 <i>Phialucium</i> sp.		+	+	
7. 印度八拟杯水母 <i>Octophialucium indicum</i> Kramp			+	
8. 锡兰和平水母 <i>Eirene ceylonensis</i> Browne			+	
9. 六幅和平水母 <i>E. hexanemalis</i> (Goette)			+	
10. 和平水母 <i>Eirene</i> sp.				+
11. 四叶小舌水母 <i>Liriope tetraphylla</i> (Chamisso et Eysenhardt)			+	
管水母类 Siphonophora				
12. 马蹄水母 <i>Hippopodius hippopus</i> (Forskal)			+	
13. 双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i> Huxley		+	+	
14. 拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i> (Lens et Van Riemsdijk)		+	+	
15. 五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i> Cunninghamham		+		
栉水母类 Ctenophora				
16. 球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i> Moser		+	+	+
17. 瓜水母 <i>Beroe cucumis</i> Fabricius		+	+	
多毛类 Polychaeta				
18. 太平洋浮蚕 <i>Tomopteris pacifica</i> Lzuka			+	
19. 游蚕 <i>Pelagobia longicirrata</i> Greeff			+	
介形类 Ostracoda				
20. 针刺真浮蚕 <i>Euconchoecia aculeata</i> (Scott)			+	
21. 尖尾海蚕 <i>Cypridina acuminata</i> (Muller)		+	+	
枝角类 Cladocera				
22. 鸟喙尖头溞 <i>Penilia avirostris</i> Dana		+	+	
23. 肥胖三角溞 <i>Evadne tergestina</i> Claus			+	
桡足类 Copepoda				
24. 中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> Brodsky	+	+	+	+
25. 普通波水蚤 <i>Undinula vulgaris</i> (Dana)			+	
26. 亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i> Giesbrecht				+
27. 小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i> (Claus)	+	+	+	
28. 针刺拟哲水蚤 <i>P. aculeatus</i> Giesbrecht	+	+	+	+
29. 微驼隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gracilis</i> Giesbrecht			+	
30. 驼背隆哲水蚤 <i>A. gibber</i> Giesbrecht		+	+	+
31. 精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i> Dana			+	+
32. 锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i> (Dana)			+	
33. 瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i> Thompson et Scott			+	
34. 中华胸刺水蚤 <i>C. sinensis</i> Chen et Zhang		+		
35. 细巧华哲水蚤 <i>Sinocalanus tenellus</i> Kikuchi	+			+
36. 海洋伪镖水蚤 <i>Psedodiatomus marinus</i> Sato	+			
37. 汤氏长足水蚤 <i>Calanopia thompsoni</i> A. Scott			+	
38. 双刺唇角水蚤 <i>Labidocera bipinnata</i> Tanaka			+	
39. 真刺唇角水蚤 <i>L. euchaeta</i> Giesbrecht	+	+	+	+
40. 左突唇角水蚤 <i>L. sinilobata</i> Shen et Lee			+	
41. 后截唇角水蚤 <i>L. detruncate</i> Dana		+		
42. 叉刺角水蚤 <i>Pontella chierchiae</i> Giesbrecht			+	
43. 太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i> Steuer		+	+	+
44. 丹氏纺锤水蚤 <i>A. danae</i> Giesbrecht			+	
45. 克氏纺锤水蚤 <i>A. clausi</i> Giesbrecht		+	+	+

续表 1

46.	小纺锤水蚤 <i>A. negligens</i> Dana	+			+
47.	中华异水蚤 <i>Acartiella sinensis</i> Shen & Lee	+		+	
48.	捷氏歪水蚤 <i>Tortanus derjugini</i> Smironov	+	+	+	+
49.	狭叶剑水蚤 <i>Sapphirina angusta</i> Dana	+			
50.	小盘盔头猛水蚤 <i>Clytemnestra scutellata</i> Dana	+			+
51.	瘦长毛猛水蚤 <i>Setella gracilis</i> Dana			+	
	糠虾类 Mysidacea				
52.	漂浮囊糠虾 <i>Gastrosaccus pelagicus</i> Ii			+	
53.	短额刺糠虾 <i>Acanthomysis brevirostris</i> Wang et Liu	+	+	+	+
54.	长额刺糠虾 <i>A. longirostris</i> Ii			+	
	涟虫类 Cumacea				
55.	细长涟虫 <i>Iphinoe tenera</i> Lomakina	+			+
56.	三叶针尾涟虫 <i>Diastylis tricineta</i> (Zimmer)	+			+
	端足类 Amphipoda				
57.	细尖小涂氏蛾 <i>Tullbergella cuspidata</i> Bovallius			+	
58.	江湖独眼钩虾 <i>Monoculodes limnophilus</i> Tattersall	+	+	+	+
	磷虾类 Euphausiacea				
59.	中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i> Wang et Chen			+	+
	十足类 Decapoda				
60.	中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i> Hansen			+	
61.	毛虾 <i>Acetes</i> sp.	+	+	+	+
62.	莹虾 <i>Lucifer</i> sp.		+	+	
63.	细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i> Stimpson			+	+
64.	海南细螯虾 <i>L. hainanensis</i> Yu			+	
65.	疣背宽额虾 <i>Latreutes planirostris</i> (de Haan)			+	
	毛颚类 Chaetognatha				
66.	肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i> Grassi			+	+
67.	拿卡箭虫 <i>S. nage</i> Alvarino		+	+	+
68.	百陶箭虫 <i>S. bedoti</i> Beraneck		+	+	+
69.	美丽箭虫 <i>S. pulchra</i> Doncaster		+	+	+
	被囊类 Tunicata				
70.	异体住囊虫 <i>Oikopleura dioica</i> Fol		+	+	
71.	住囊虫 <i>Oikopleura</i> sp.			+	
72.	拟海樽 <i>Doliioletta</i> sp.		+	+	
	浮游贝类 Pelagic mollusca				
73.	玻杯螺 <i>Hyalocylis striata</i> (Rang)			+	
74.	马蹄琥螺 <i>Limacina trochiformis</i> (d'Orbigny)			+	
75.	明螺 <i>Atlanta</i> sp.		+	+	
	浮游幼体 Pelagic larva				
76.	筒螳辐射幼虫 <i>Tubularia actinula</i> larva			+	
77.	担轮幼虫 Trochophora larva		+		
78.	多毛类幼虫 Polychaeta larva	+	+	+	+
79.	海洋昆虫幼虫 Marine insect larva				+
80.	等足类幼虫 Isopoda larva			+	
81.	蔓足类幼虫 Cirripedite larva		+	+	
82.	瓣鳃类幼虫 Lamellibranchiata larva	+		+	+
83.	腹足类后期幼虫 Gastropoda post larva	+	+	+	
84.	桡足类无节幼体 Copepoda nauplius larva	+	+	+	+
85.	磷虾类幼虫 Euphausiacea larva		+	+	+
86.	短尾类幼虫 Brachyura larva	+	+	+	+
87.	口足类阿利玛幼体 Squillidae alima larva			+	
88.	蛇尾长腕幼虫 Ophiopluteus larva			+	
89.	海胆长腕幼虫 Echinopluteus larva			+	
90.	鳀 鱼 <i>Engraulis japonicus</i> Temminck et Schlegel		+		
91.	鰕 虎鱼科仔鱼 Gobiidae gen. spp.		+	+	
92.	未定种类仔鱼 Undecided group fish larva	+	+	+	

2.3 浮游动物生物量的平面分布

2003 年 5 月,随着水温的上升,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。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,个体大的水母类出现频率高,其种数达 14 种,因而生物量普遍较高。从湾顶向湾口海区,生物量逐渐下降(表 3、图 3b)。

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

2003 年 2 月,浮游动物种类数明显下降,暖水性种类消失,水母类未检出,生物量均较低。从湾顶向湾口海区,生物量呈逐渐上升趋势(表 3、图 3d)。

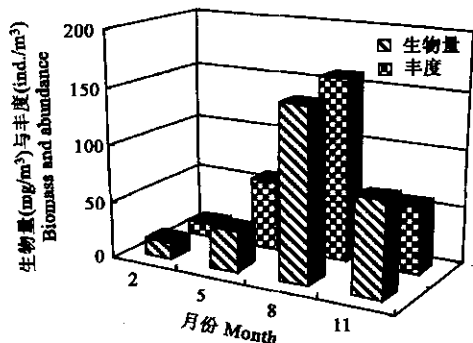


图 2 浮游动物生物量和丰度的季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of biomass and abundance of zooplankton

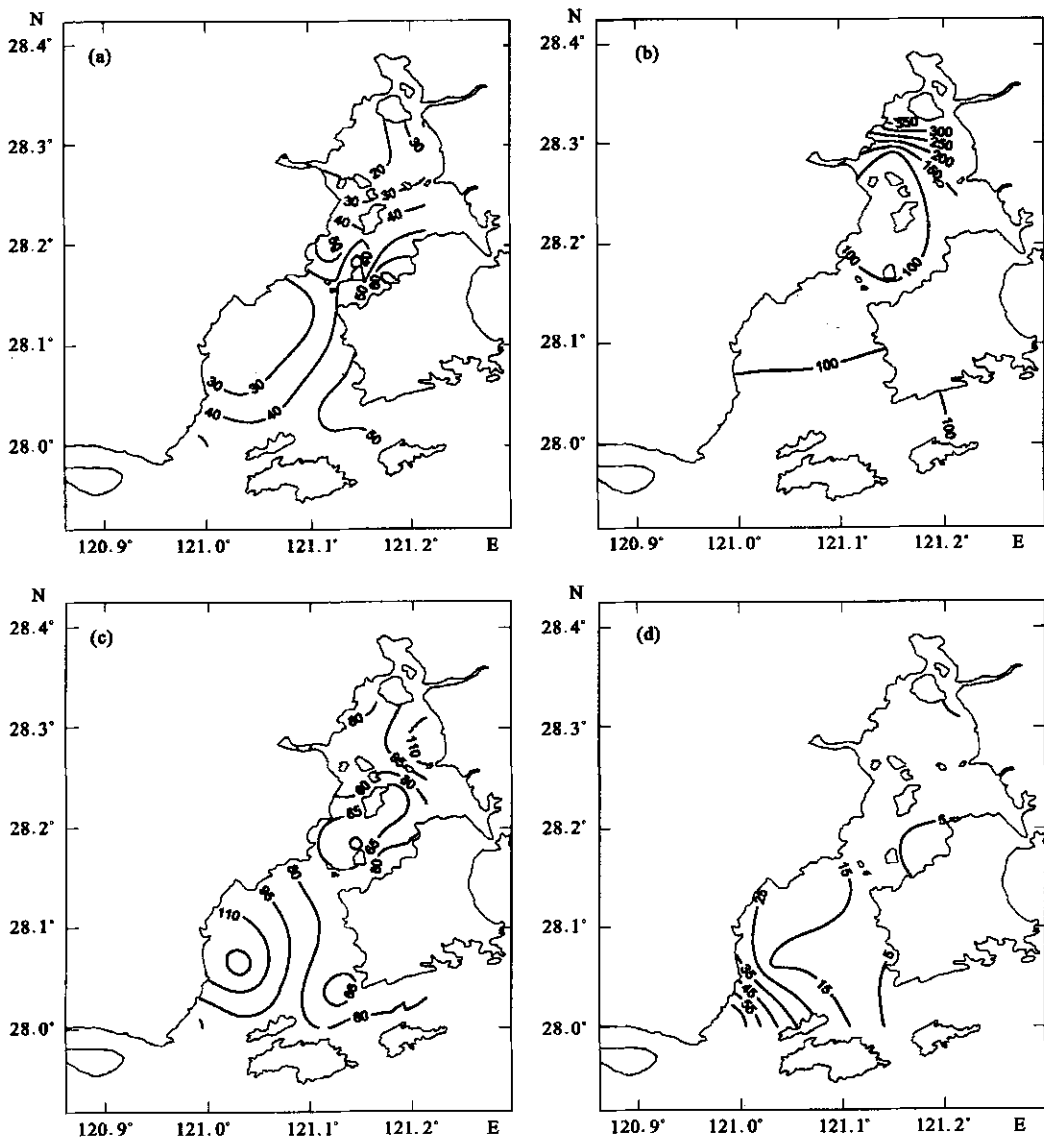


图 3 浮游动物生物量(mg/m³)的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of zooplankton biomass(mg/m³)

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

表 3 浮游动物生物量和丰度的季节变化(2002.8~2003.5)

参数 Parameter	生物量 Biomass(mg/m ³)			平均值 Mean (mg/m ³)	丰度 Abundance(ind/m ³)			平均值 Mean (ind/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	22.50	40.87	43.95	36.50	40.04	69.41	69.86	61.14
8 月 Aug.	248.79	108.14	84.73	150.78	279.32	139.12	57.16	160.32
11 月 Nov.	100.85	69.66	89.13	83.05	58.33	57.73	60.60	58.75
2 月 Feb.	8.16	10.50	24.85	14.87	3.04	4.78	25.39	11.64

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,导致浮游动物丰度的上升,丰度的平面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,随着水温的升高,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,其平面分布类似于生物量,

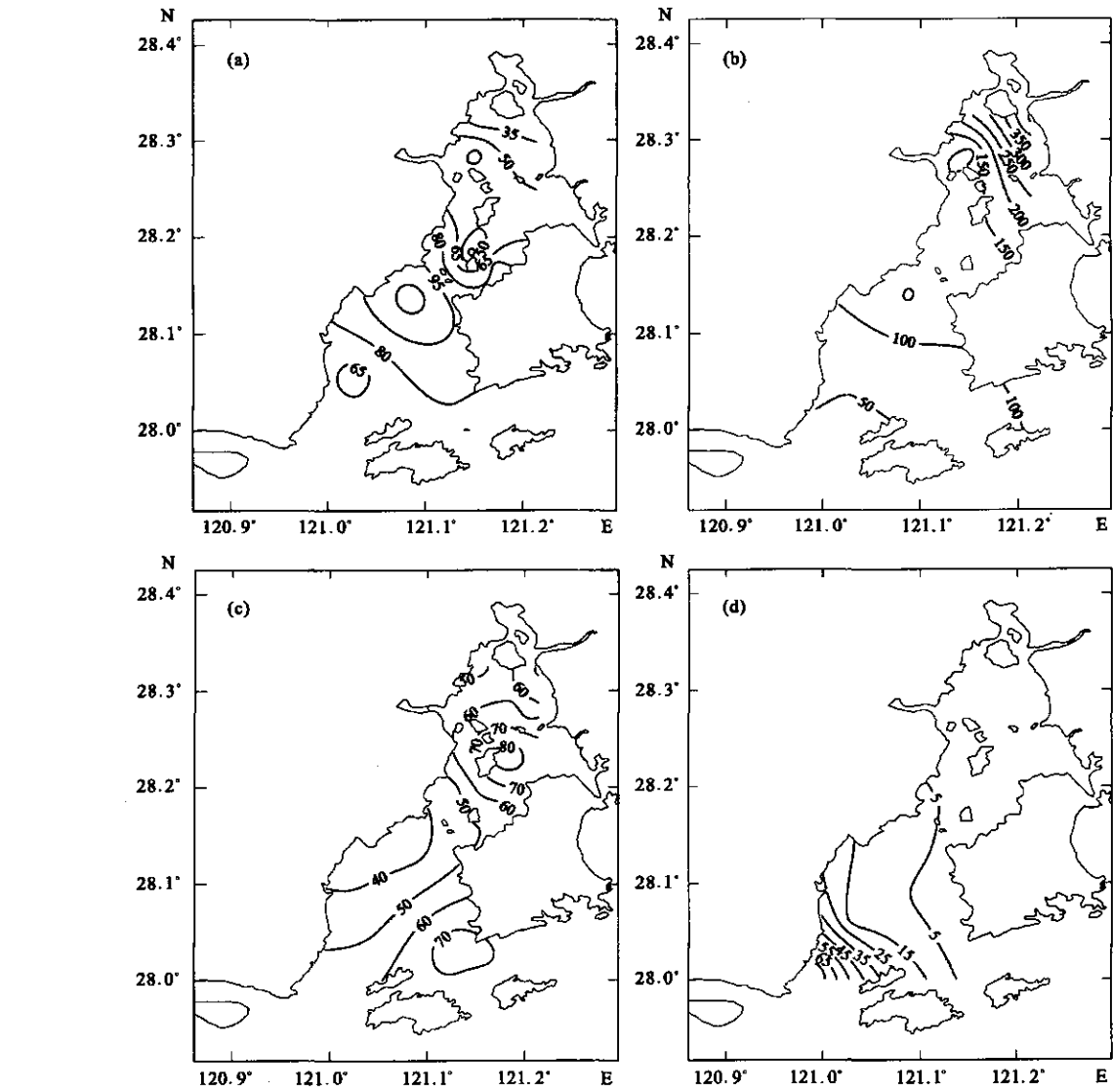


图 4 浮游动物丰度(ind/m³)的平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of zooplankton abundance(ind/m³)

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

从湾顶向湾口海区,丰度逐渐下降(表 3、图 4b);

2002 年 11 月,丰度的平面分布相对均匀,趋势不明显(表 3、图 4c)。

2003 年 2 月,浮游动物的丰度较低,仅为 11.64ind/m³,丰度的平面分布与生物量的分布趋势相似,从湾顶向湾口海区,丰度逐渐上升(表 3、图 4d)。

浮游动物与其它环境因子的分析研究表明,5 月,浮游动物丰度与盐度之间呈现较弱的正相关关系(图 5a)。8 月份,浮游动物丰度与盐度之间呈现显著负相关(图 5b),系夏季外海水入侵强盛,迫使近岸优势类群的桡足类和浮游幼体等种群趋向盐度较低的水域导致的结果,在湾顶部低盐水域,真刺唇角水蚤(83.14ind/m³)和短尾类幼虫(42.14ind/m³)均出现高丰度。8 月份,浮游动物丰度与总无机氮、磷酸盐之间呈现显著正相关(图 6),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、磷酸盐之间的相关关系不明显。

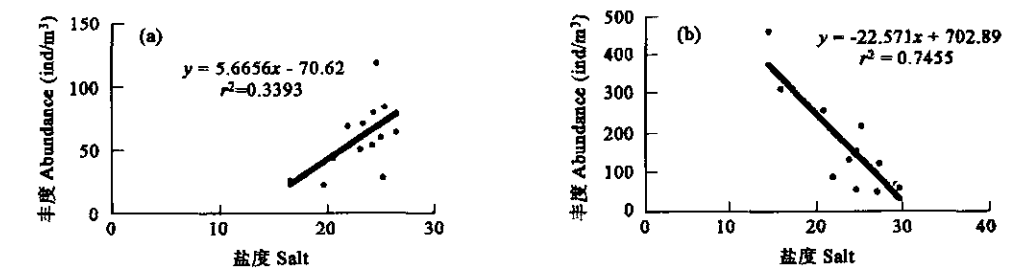


图 5 浮游动物丰度与盐度的关系
Fig. 5 Correlations between zooplankton abundance and salt
(a)2003 年 5 月 May 2003; (b)2002 年 8 月 Aug. 2002

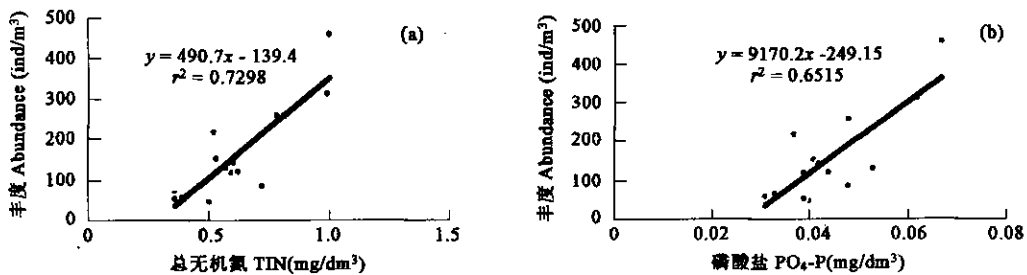


图 6 浮游动物丰度与营养盐的关系(2002 年 8 月)
Fig. 6 Correlations between zooplankton abundance and nutrition(Aug. 2002)

2.5 浮游动物优势种的季节演替

乐清湾浮游动物优势种主要是近岸低盐类群,除了真刺唇角水蚤为 4 个季节共有的优势种外,不同季节,优势种有季节演替现象(表 4)。

表 4 浮游动物优势种的季节变化 (2002. 8~2003. 5)

季节 Season	优势种 Dominant species	占总丰度百分比(%)
		In the percentage of total abundance
5 月 May	真刺唇角水蚤、短尾类幼虫、百陶箭虫	48
8 月 August	真刺唇角水蚤、短尾类幼虫、中华假磷虾	50
11 月 November	真刺唇角水蚤、驼背隆哲水蚤、太平洋纺锤水蚤	71
2 月 February	真刺唇角水蚤、三叶针尾涟虫、短额刺糠虾	43

5 月份,优势种为真刺唇角水蚤、短尾类幼体和百陶箭虫,这 3 个优势种的丰度之和占浮游动物总丰度的 48%;8 月份,真刺唇角水蚤占绝对优势,研究海区平均丰度达 40.58 ind/m³,占浮游动物总丰度的 25.31%,短尾类幼虫和中华假磷虾优势明显;11 月份,真刺唇角水蚤仍占绝对优势,平均丰度达 21.17 ind/m³,占浮游动物总丰度的 36.03%,其他优势种还有驼背隆哲

水蚤和太平洋纺锤水蚤;2月份,优势种为真刺唇角水蚤、三叶针尾涟虫和短额刺糠虾。浮游动物优势种的季节演替主要与水温 和盐度的变化有关。

2.6 多样性指数和均匀度

乐清湾浮游动物种类的多样性指数有季节变化。8月份,多样性指数最高,平均达3.16,浮游动物的种数(64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1.11,浮游动物的种数(16种和6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(2.94)高于11月份(2.24),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。浮游动物均匀度平均值高低依次为:2月份>5月份>8月份>11月份(表5)。

2.7 微型浮游动物摄食率

研究结果表明,2003年5月,乐清湾微型浮游动物的摄食率(g)为 0.27 d^{-1} ,浮游植物的生长率(k)为 2.07 d^{-1} ,微型浮游动物的摄食率远低于浮游植物的生长率,对浮游植物的生长存在较小的摄食压力。2002年8月,微型浮游动物的摄食率(g)为 0.39 d^{-1} ,浮游植物的生长率(k)为 1.78 d^{-1} ,微型浮游动物的摄食率明显低于浮游植物的生长率,对浮游植物有摄食压力。2002年11月,微型浮游动物的摄食率(g)为 0.48 d^{-1} ,浮游植物的生长率(k)为 0.52 d^{-1} ,微型浮游动物的摄食率与浮游植物的生长率相近,摄食压力明显,两者呈动态平衡。2003年2月,微型浮游动物的摄食率(g)为 0.15 d^{-1} ,浮游植物的生长率(k)为 0.26 d^{-1} ,微型浮游动物的摄食率略低于浮游植物的生长率,对浮游植物的生长存在摄食压力。

乐清湾微型浮游动物摄食率和浮游植物生长率研究结果与国内外不同海区所报道的研究结果相近。

表5 浮游动物多样性指数的季节变化(2002.8~2003.5)

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	2.94	1.82~3.53	0.80
8月 August	3.16	2.45~3.80	0.74
11月 November	2.24	0.98~3.03	0.69
2月 February	1.11	0.59~2.13	0.92

表6 不同海区用稀释培养法实验的结果比较

Table 6 Comparison of results of dilution experiments in different parts of the world ocean

研究海区 Study area	浮游植物的生长率	微型浮游动物的摄食率	参考文献 Reference
	Phytoplankton growth rate $k(\text{d}^{-1})$	Microzooplankton grazing rate $g(\text{d}^{-1})$	
Kaneohe Bay, Hawaii	1.2~2.0	0.1~1.1	[5]
Hiroshima Bay	0.26~1.88	0.20~1.39	[6]
Monterey Bay, Canada	0.53~1.30	0.23~0.79	[7]
Fourleague Bay, Louisiana	0.46~2.14	0.32~2.11	[8]
Western Gulf of St. Lawrence	0.41~1.09	0.34~0.55	[9]
渤海 Bohai Sea	0.23~0.73	0.43~0.69	[10]
乐清湾 Yeqing Bay	0.26~2.07	0.15~0.48	This paper

3 结论

3.1 乐清湾4个航次共鉴定出浮游动物16个类群,56属,75种和17类浮游幼体,其中,桡足类种数最多,为28种,其次是浮游幼体(包括仔鱼),有17类,水母类有17种。浮游动物种类数有明显的季节变化,8月份种类(64种和14类浮游幼体)最多,主要是受温度 and 外海水入侵影响的结果。

3.2 浮游动物生态类型主要可分为4类: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乐清湾的优势类群,占浮游动物种类总数的65%左右,其他各类群数量较少。浮游动物的优势种有季节演替现象,真刺唇角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 71.37mg/m^3 ,生物量的季节变化明显,8月的生物量最高(150.78mg/m^3),2月份的生物量最低(14.87mg/m^3),11月份高于5月份。生物量的平面分布特征:2月份和5月份生物量从湾顶向湾口呈上升趋势,8月份生物量从湾顶向湾口区逐渐降低,11月份生物量分布相对均匀。

3.4 浮游动物丰度四季的平均值为 72.96 ind/m^3 ,8月份的丰度最高(160.32 ind/m^3),2月份的丰度最低(11.64 ind/m^3),5月份高于11月份。丰度的分布与生物量的分布趋势一致。

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>5月份>8月份>11月份。

3.6 微型浮游动物摄食率的变化在 $0.15\sim0.48\text{d}^{-1}$,浮游植物的生长率变化在 $0.26\sim2.07\text{d}^{-1}$ 。5月份和8月份,浮游植物的

生长率远高于微型浮游动物的摄食率,因而浮游动物对浮游植物的生长有较小的摄食压力;11 月份和 2 月份,微型浮游动物的摄食率与浮游植物的生长率相近,浮游动物对浮游植物有明显的摄食压力,浮游动物与浮游植物之间呈动态平衡状态。

References:

[1] Edition 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, 1993, **6**: 168~179.

[3] 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.

[4] Landry M R and Hassett R P. Estimating the grazing impact of marine micro zooplankton. *Mar. Biol.*, 1982, **67**: 283~288.

[5] Landry M R, Hass L W and Fagerness V L. Dynamics of microbial plankton communities: experiments in Kaneohe Bay, Hawaii. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1984, **16**: 127~133.

[6] Kamiyama T. The impact of grazing by microzooplankton in northern Hiroshima Bay, the Seto Inland Seam, Japan. *Mar. Biol.*, 1994, **119**: 77~88.

[7] Waterhouse T Y and Welschmeyer N A. Taxon-specific analysis of microzooplankton grazing rates and phytoplankton growth rates. *Limnol. Oceanogr.*, 1995, **40**: 827~834.

[8] Dagg M J. Ingestion of phytoplankton by the micro- and mesozooplankton communities in a productive subtropical estuary. *J. Plankton Res.*, 1995, **17**: 845~857.

[9] 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.

[10] Wang R, Li C, Wang K, *et al.* Feeding activities of zooplankton in the Bohai Sea. *Fishing Oceanography*, 1998, **7**: 265~271.

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》第六分册. 北京:海洋出版社, 1993. 168~179.

[3] 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.