

长江河口中小型浮游动物数量分布、变动 及主要影响因素

郭沛涌^{1,2}, 沈焕庭², 刘阿成³, 王金辉³, 杨元利³

(1. 华侨大学环境科学与工程系, 福建 泉州 362021; 2. 华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062;
3. 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 200157)

摘要:于 1999 年枯水期(2~3 月份)、丰水期(8 月份)、2000 年枯水期(2~3 月份)对长江河口浮游动物采样调查,研究了长江河口浮游动物的数量分布、变动及主要影响因素。结果表明:1999 年枯水期浮游动物平均数量仅为 79.07 ind/m³,浮游动物在河口内与口外海滨形成两个高丰度区,浮游动物个体数量从口门内向近岸及近外海逐渐递减,优势种数量分布情况决定了该期浮游动物总数量分布。1999 年丰水期,浮游动物平均数量高达 300.89 ind/m³,浮游动物分布不均匀,数量由河口内向近岸水域与近外海水域递增。2000 年枯水期,浮游动物数量分布总体趋势与 1999 年枯水期相同。1999 年枯水期、丰水期,2000 年 3 月枯水期,桡足类数量占浮游动物总数量分别为 95.54%、85.82%、84.83%,桡足类数量在浮游动物总数量中占绝对优势,并在浮游动物数量分布中起关键作用。浮游动物数量分布受潮周期影响显著,优势种在浮游动物数量潮周期分布中起重要作用。由各样站的浮游动物数量与盐度做回归分析,在枯水期均不成线性关系,在丰水期则成线性相关,回归方程为: $y = 0.34134 + 0.0112x$ ($r = 0.9341$, $n = 8$)。此外,长江口浮游动物数量季节变化与温度、径流量、海流及食物等关系密切。

关键词:浮游动物;数量分布;季节动态;长江河口

文章编号:1000-0933(2008)08-3517-10 中图分类号:Q178.1 文献标识码:A

Factors controlling abundance and distribution of mesozooplankton and microzooplankton in Yangtze River Estuary

GUO Pei-Yong^{1,2}, SHEN Huan-Ting², LIU A-Cheng³, WANG Jin-Hui³, YANG Yuan-Li³

1 Department of Environmental Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou, Fujian 362021, China

2 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062 China

3 East China Sea Monitoring Center, SOA, Shanghai, 200137 China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3517 ~ 3526.

Abstract: Zooplankton samples were collected from three oceanographic cruises during February-March, 1999 (dry periods), August 1999 (flood periods) and February-March 2000 (dry periods), respectively, to investigate the abundance and distribution of zooplankton in Yangtze River estuary due to season variations and other main factors. The results showed that the average abundance of zooplankton was as low as 79.07 ind/m³ during the dry periods in 1999. Two high abundance areas were found inside and outside of the estuary with a gradient of gradually decrease from the estuary to

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(40231017);河口海岸国家重点实验室开放基金资助项目(200409),华侨大学高层次人才科研启动基金资助项目(04BS312)

收稿日期:2007-11-30; **修订日期:**2008-06-22

作者简介:郭沛涌,男(1969~),博士,副研究员,主要从事环境科学研究. E-mail: guopeiyong@sina.com

致谢:感谢美国 Montclair 大学 Feng Huan 教授对写作的帮助.

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China(No. 40231017); Opening Foundation of State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research(No. 200409) and High-level Talents Startup Foundation of Huaqiao University (No. 04BS312)

Received date: 2007-11-30; **Accepted date:** 2008-06-22

Biography: GUO Pei-Yong, Ph. D, Associate professor, mainly engaged in environmental science. E-mail: guopeiyong@sina.com.

the ocean. The distribution of dominant species during that time period was determined. In contrast, the average abundance of zooplankton during the flood periods in 1999 was as high as 300.89 ind/m³ and gradually increased from estuary towards open ocean. A patch distribution pattern was observed. A similar dry periods distribution pattern was repeated during the dry periods in 2000. Copepoda accounted for 95.54%, 85.82% and 84.83% of total zooplankton during the February-March, 1999, August 1999 and February-March 2000 samplings, respectively. In this study, we found that, Copepoda was the predominant species and played a key role in controlling the abundance and distribution of zooplankton and distribution of dominant species was considerably influenced by the tidal stage. The regression analysis showed no linear correlation between zooplankton abundance and salinity during the dry periods. However, there exists significant linear correlation during the flood periods ($r = 0.9341$, $n = 8$). In addition, the seasonal variation of zooplankton abundance is closely associated with temperature, river discharge, ocean currents and food.

Key Words: zooplankton; abundance; distribution; seasonal variation; Yangtze River Estuary

浮游动物在河口生态系统物质与能量流动中起关键作用,浮游动物群落的数量分布及时空变化是其重要的生态学特征参量^[1-7]并影响该地区的初级生产与高级消费者如经济鱼类的产量。因此,对浮游动物有关方面的研究及对影响其群落因素的探讨将有助于揭示长江河口浮游动物群落的生态学基本规律。长期以来,有关学者陆续对长江河口的浮游动物进行了一些调查研究,取得一定得成果^[8-18],但要阐明该水域浮游动物生态学基本规律,较长时间资料积累和动态比较研究必不可少,特别是三峡工程竣工前的生态学研究尤为重要。对 1999~2000 年期间长江河口浮游动物种类组成、群落结构及多样性等的研究已作了报道^[19],本文将对该期间浮游动物数量分布、变动及主要影响因素等进行探讨,以为有关研究深入进行提供重要科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域与采样时间

于 1999 年枯水期(2~3 月份)、1999 年丰水期(8 月份)、2000 年枯水期(2~3 月份),在长江河口区(31°00'~31°32'N, 121°21'25"~122°30'E)设 16 个站位(图 1),进行了生物、化学、水文等项目采样调查,其中, SX01~SX06 基本为连续站,其余为大面站。将调查区域分为河口内区域(SX01-SX04 样站)、近岸区域(SX05-SX14 样站)、近外海区域(E1001-a 样站)三部分。

1.2 研究方法

连续站进行大、小潮准同步观测,每潮次连续观测、采样 12h 以上,每小时正点观测流速、流向,6 层法采集悬浮物水样,转流和涨急、落急时加密到 0.5h 一次。在涨急、落急、涨憩、落憩时 3 层法采集水化学样品和叶绿素 a 样品,每潮次在涨憩和落憩时采集浮游生物样品。大面站浮游动物随到随采。采集浮游动物时用浅水 II 型浮游生物网(网目大小 0.160mm,网长 140cm,网口内径 31.6cm,网口面积 0.08m²),自底层至表层垂直拖网得到中小型浮游动物,样品用 5% 甲醛溶液固定,实验室分析鉴定。全部浮游动物采集、处理等均按《海洋调查规范——海洋生物调查》^[20]进行。

2 结果

2.1 浮游动物数量分布及变化

河口内区域、近岸区域、近外海 3 部分区域浮游动物平均丰度列表 1,其分布如图 2~图 4。浮游动物优势种在各样站的数量分布见表 2。丰度按下式计算:

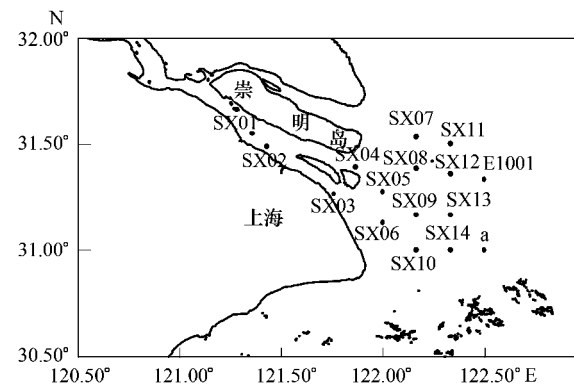


图 1 长江河口采样站位图

Fig. 1 Sampling stations in Yangtze River Estuary

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

式中, $\bar{X}$ 为各采样海区浮游动物丰度平均值, x_i 为某样站浮游动物丰度值; n 为样站个数。

表 1 浮游动物丰度分布统计数值特征值

时间 Time	采样海区 Sampling area	平均值(ind/m ³) Mean value	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
1999 年枯水期 Dry period in 1999	SX01 ~ SX04 样站	117.46	64.45	0.5487
	SX05 ~ SX14 样站	76.23	51.02	0.6693
	E1001-a 样站	13.70	12.30	0.8981
	全部样站	79.07	59.05	0.7468
1999 年丰水期 Flood period in 1999	SX01 ~ SX04 样站	4.70	3.34	0.7108
	SX05 ~ SX14 样站	289.70	306.53	1.0581
	E1001-a 样站	949.20	717.86	0.7563
	全部样站	300.89	412.62	1.3713
2000 年枯水期 Dry period in 2000	SX01 ~ SX04 样站	346.45	217.71	0.6284
	SX05 ~ SX14 样站	43.81	28.49	0.6504
	E1001-a 样站	9.90	7.50	0.7571
	全部样站	115.23	170.61	1.4806

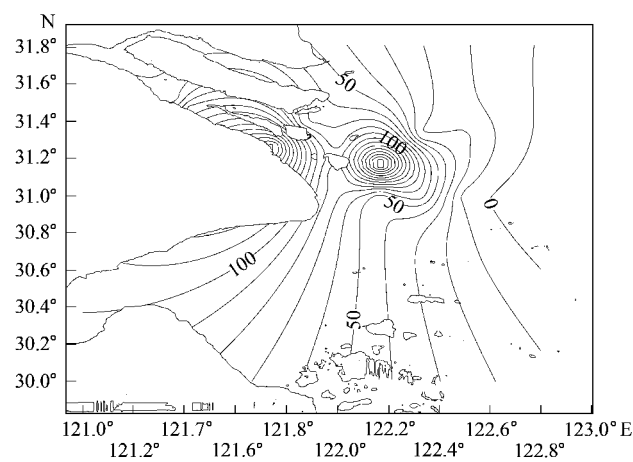


图 2 1999 年枯水期浮游动物丰度(ind/m³)
Fig. 2 The distribution of abundance of zooplankton in dry period in1999(ind/m³)

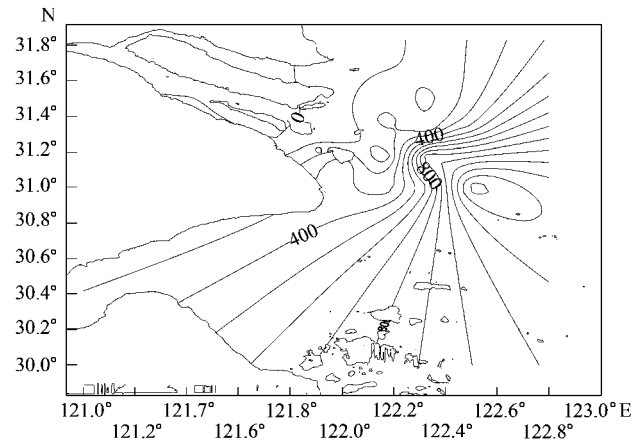


图 3 1999 年丰水期浮游动物丰度(ind/m³)
Fig. 3 The distribution of abundance of zooplankton in flood period in 1999(ind/m³)

从图 2 可见,1999 年枯水期浮游动物在河口内与口外海滨形成两个高丰度区,区域在北纬 31.26 ~ 31.48°,东经 121.42 ~ 121.75°和北纬 31.17 ~ 31.38°、东经 122 ~ 122.17°之间。从表 1 可见,1999 年枯水期浮游动物总的平均数量不高,平均为 79.07ind/m³,变异系数较低为 0.7468。从各区域来看,口门内浮游动物数量最高,平均为 117.46ind/m³。近外海最低,平均仅为 13.70ind/m³,且变异系数为 0.8981,说明该区域个体少且分布不均匀。浮游动物个体数量从口门内向近岸及近外海逐渐递减。从表 2 可见,1999 年优势种以华哲水蚤(*Sinocalanus sinensis*)、虫肢歪水蚤(*Tortanus vermiculus*)等为主,浮游动物优势种数量分布情况决定了该期浮游动物总数量分布。如华哲水蚤在 SX03 样站形成高生物量,达 202.45ind/m³,而虫肢歪水蚤在 SX09 样站达 155.60ind/m³,从而口门内及近岸水域形成浮游动物的密集区。

从表 1、表 2,图 3 可见,1999 年丰水期,浮游动物的数量分布与枯水期明显不同。平均数量高达

300.89 ind/m³, 变异值为 1.3713, 浮游动物分布不均匀, 数量由河口内向近岸水域与近外海水域递增。数量的高值区在近外海水域, 即东经 122°20' 以东, 数量达 949.20 ind/m³, 口门内仅有 4.70 ind/m³。优势种火腿许水蚤 (*Schmackeria poplesia*)、太平洋纺锤蚤 (*Acartia pacifica*)、真刺唇角水蚤 (*Labidocera euchaeta*) 等在近外海区数量大量增加, 口门内水域很少。火腿许水蚤在 SX13 样站平均达 708.90 ind/m³, 真刺唇角水蚤在 SX14 为 412.00 ind/m³, 而太平洋纺锤蚤在 a 样站更高达 1202.10 ind/m³。从而在近岸及近外海水域形成浮游动物高值区。

从表 1、表 2、图 4 可见, 2000 年枯水期浮游动物数量分布总体趋势与 1999 年枯水期相同, 即由口门内向近岸区和近外海区递减。2000 年枯水期浮游动物数量

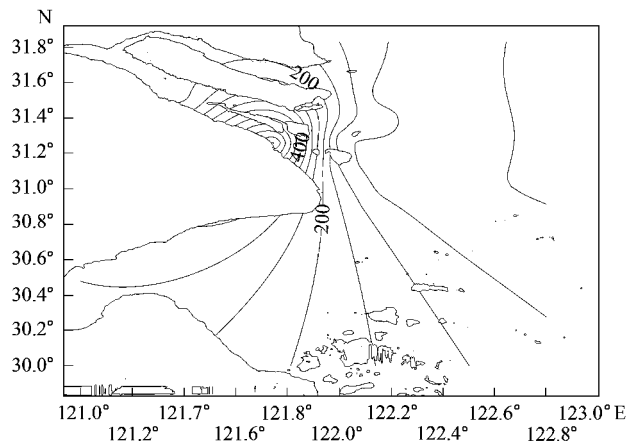


图 4 2000 年枯水期浮游动物丰度 (ind/m³)

Fig. 4 The distribution of abundance of zooplankton in dry period in 2000 (ind/m³)

表 2 长江河口浮游动物部分优势种丰度的季节分布 (ind/m³)

Table 2 Seasonal variation of zooplankton abundance of some dominant species in Yangtze River Estuary

时间 Time	优势种 Dominant species	站位 Sampling stations							
		SX01	SX02	SX03	SX04	SX05	SX06	SX07	SX08
1999 年枯水期 Dry period in 1999	华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i>	59.35	90.15	202.45	51.87	35.68	1.20	—	2.50
	虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i>	1.80	0.70	2.60	6.90	5.83	19.75	—	29.20
	火腿许水蚤 <i>Schmackeria poplesia</i>	0	0	0	2.03	34.40	207.85	3.60	170.00
	太平洋纺锤蚤 <i>Acartia pacifica</i>	0	0	0	0	0	0.43	14.30	2.50
1999 年丰水期 Flood period in 1999	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	0	0	0	0.10	0.50	0.63	60	36.70
	华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i>	48.80	76.90	332.50	258.50	10	20.65	4	76.70
	近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus vicinus</i>	21.20	28.10	114.30	39	46.30	45.25	0	0
	透明溞 <i>Daphnia hyalina</i>	98.80	88.80	20.60	10	1.30	0	0	0
2000 年枯水期 Dry period in 2000	英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuus</i>	3.50	8.80	171.20	24	0	1.25	0	
时间 Time	优势种 dominant species	站位 Sampling stations							
		SX09	SX10	SX11	SX12	SX13	SX14	E1001	α
1999 年枯水期 Dry period in 1999	华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i>	4.90	8.50	—	1.00	0	0	0	0
	虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i>	155.60	10.75	—	2.00	23.15	35.35	0	0
	火腿许水蚤 <i>Schmackeria poplesia</i>	9.40	95.60	1.30	0	708.9	97	0	3.20
	太平洋纺锤蚤 <i>Acartia pacifica</i>	0	0	0.90	38.80	11.10	8	128	1202.10
1999 年丰水期 Flood period in 1999	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	3.90	65.60	8.10	14.40	135.60	412	0	33.10
	华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i>	1.90	0	0	0	0	0	0	0
	近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus vicinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
	透明溞 <i>Daphnia hyalina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
2000 年枯水期 Dry period in 2000	英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0

只在口门内形成高值区,平均数量为 346.45 ind/m^3 ,近外海区平均为 9.90 ind/m^3 。从数量总分布来看,全水域平均为 115.23 ind/m^3 ,且变异系数达 1.4806,说明全水域浮游动物分布不均匀。但从 3 个区域看(表 1),变异系数相对不大,说明各区域内浮游动物分布较均匀。近岸半咸水种类如华哲水蚤和淡水种如近邻剑水蚤(*Cyclops vicinus*)、英勇剑水蚤(*Cyclops strenuus*)、透明蚤(*Daphnia hyalina*)等在口门内数量较大,是口门内浮游动物高数量值的主要贡献者。如华哲水蚤在 SX03、SX04 样站分别达到 332.50 、 258.50 ind/m^3 ,近邻剑水蚤、英勇剑水蚤在 SX03 样站分别达到 114.30 、 171.20 ind/m^3 。

2.2 数量的潮周期变化

选取连续采样站 SX01 ~ SX06,对不同潮周期浮游动物数量的变化进行考察,以期了解潮周期对浮游动物数量分布的影响。结果如图 5 ~ 7。

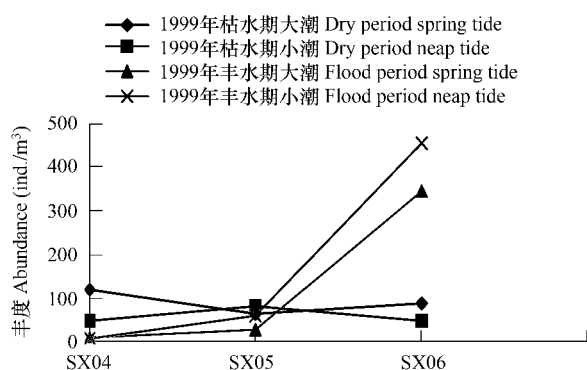


图 5 大、小潮浮游动物丰度

Fig. 5 The abundance of zooplankton in spring and neap tide

由图 5 可见,1999 年枯水期大潮时浮游动物数量 SX05 样站 < SX06 样站 < SX04 样站,分别为 65.00 、 89.10 、 120.10 ind/m^3 ,小潮时 SX05 样站最多为 82.10 ind/m^3 ,SX04 与 SX06 样站几乎相等,分别为 49.10 、 48.70 ind/m^3 。SX04、SX06 样站大潮时浮游动物数量大于小潮的数量。SX05 样站小潮时浮游动物数量大于大潮,其原因是 SX05 样站优势种华哲水蚤小潮的数量为 56.75 ind/m^3 大于大潮时的数量 14.60 ind/m^3 。1999 年丰水期,大潮时浮游动物数量 SX04 < SX05 < SX06,分别为 10.4 、 28.55 、 346.35 ind/m^3 。小潮时同样,数量分别为 8.00 、 60.45 、 455.95 ind/m^3 。SX04 大潮时浮游动物数量略大于小潮时的数量, SX05、SX06 样站小潮时浮游动物数量大于大潮时的数量,其原因是在 SX05 样站优势种火腿许水蚤小潮时的数量为 48.35 ind/m^3 ,大于大潮时数量(20.45 ind/m^3)。在 SX06 样站另一优势种虫肢歪水蚤小潮时的数量为 212.15 ind/m^3 ,大于大潮时的数量(112.30 ind/m^3)。

从图 6 可见,在 1999 年枯水期大潮, SX05、SX06 样站浮游动物数量在涨憩时分别为 91.70 、 121.00 ind/m^3 ,落憩时的数量分别为 38.30 、 57.20 ind/m^3 ,涨憩明显大于落憩。这是因为尽管优势种华哲水蚤在 SX05、SX06 样站涨憩数量(1.70 、 0 ind/m^3)小于落憩(27.50 、 1.60 ind/m^3),但另两种优势种虫肢歪水蚤(涨憩数量分别为 8.30 、 33.10 ind/m^3 、落憩数量分别为 3.30 、 27.80 ind/m^3)、真刺唇角水蚤(涨憩数量分别为 47.50 、

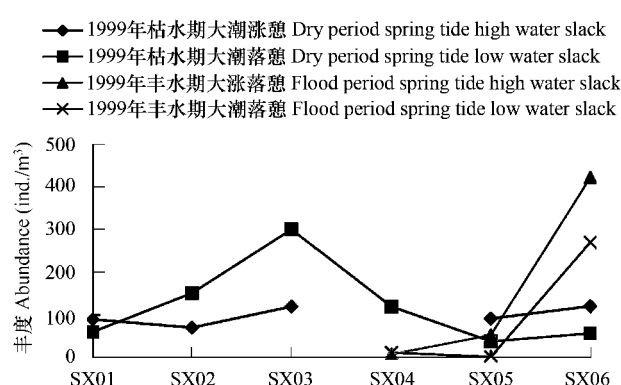


图 6 大潮涨、落憩浮游动物丰度

Fig. 6 The abundance of zooplankton in high water slack and low water slack of spring tide

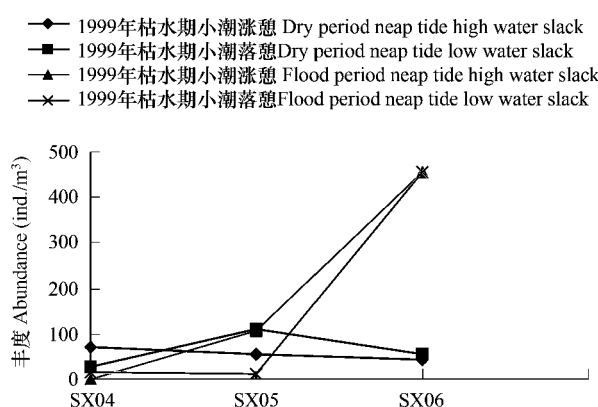


图 7 小潮涨、落憩浮游动物丰度

Fig. 7 The abundance of zooplankton in high water slack and low water slack of neap tide

58.80 ind/m³、落憩数量分别为 0、19.00 ind/m³) 均涨憩大于落憩。1999 年丰水期大潮, 除 SX04 样站浮游动物数量涨憩为 8.30 ind/m³ 略小于落憩时的数量 12.50 ind/m³ 之外, SX05、SX06 样站涨憩时的数量分别为 53.50、422.00 ind/m³ 大于落憩时的 1.80、270.70 ind/m³。

从图 7 可见, 1999 年枯水期小潮 SX04 样站浮游动物数量涨憩大于落憩, 数量分别为 70.50、27.70 ind/m³。SX05、SX06 样站浮游动物数量涨憩时分别为 54.20、43.50 ind/m³ 小于落憩时的 110.00 ind/m³、53.90 ind/m³。1999 年丰水期小潮涨落憩浮游动物数量变化趋势与 1999 年丰水期大潮时相似。

总的看来, 浮游动物数量分布受潮周期影响显著, 优势种在浮游动物数量潮周期分布中起重要作用。

3 讨论

3.1 浮游动物各类群对浮游动物总丰度的贡献

各类浮游动物丰度占浮游动物总丰度百分比见表 3。

表 3 各类浮游动物丰度占浮游动物总丰度百分比
Table 3 The percentage of zooplankton abundance of all groups

浮游动物 Zooplankton	百分比 Percentage (%)		
	1999 年枯水期 Dry period in 1999	1999 年丰水期 Flood period in 1999	2000 年枯水期 Dry period in 1999
桡足类 Copepoda	95.540	85.820	84.830
水母类 Medusae	0.286	0.265	0.030
毛颚类 Chaetognatha	0.224	3.650	0.223
磷虾类 Euphausiacea	0.004	2.140	0.066
糠虾类 Mysidacea	0.437	3.312	0.705
樱虾类 Sergestidae	0.020	0.033	0.005
介形类 Ostracoda	0	0.029	0.010
枝角类 Cladocera	0.098	0.249	12.890
端足类 Amphipoda	0.918	0.730	0.568
涟虫类 Cumacea	1.620	0.066	0.213
被囊类 Tunicata	0.057	0	0.076
浮游多毛类 Polychaeta	0.147	0.039	0.005
幼虫类 larva	0.584	3.150	0.386
浮游软体类 Mollusca	0	0.005	0
其他类 others	0.057	0.209	0

从表 3、4 可见, 在 1999 年枯水期桡足类数量占浮游动物总数的绝对优势, 高达 95.54%, 其它浮游动物除涟虫类占总数量的 1.62% 之外, 均小于 1%。桡足类平均数量为 75.60 ind/m³, 最低值在近外海 a 样站为 4.10 ind/m³, 最高值在口门内 SX03 样站为 205.80 ind/m³。

表 4 长江河口桡足类数量分布 (ind/m³)
Table 4 Horizontal distribution of Copepoda in Yangtze River Estuary

时间 Time	站位 Sampling stations							
	SX01	SX02	SX03	SX04	SX05	SX06	SX07	SX08
1999 年枯水期 Dry period in 1999	74.35	109.75	205.80	71.53	65.30	66.53	—	75.10
1999 年丰水期 Flood period in 1999	0	0.80	0	3.48	37.40	373.63	82.90	216.70
2000 年枯水期 Dry period in 1999	79.80	113.80	618.00	321.50	64.40	83.40	19.50	85.00
时间 time	站位 Sampling stations							
	SX09	SX10	SX11	SX12	SX13	SX14	E1001	a 平均值 Mean
1999 年枯水期 Dry period in 1999	185.20	37.40	—	14.00	70.80	61.20	17.30	4.10 75.60
1999 年丰水期 Flood period in 1999	18.40	202.40	18.40	55.10	902.20	543.00	278.70	1324.90 289.86
2000 年枯水期 Dry period in 1999	27.60	31.45	27.00	0	47.60	26.90	7.70	3.50 103.81

1999 年丰水期桡足类数量占总数量的 85.82%,毛颚类、糠虾类、幼虫类和磷虾类分别占总数量的 3.65%、3.31%、3.15%、2.14%,其它浮游动物数量小于总数量的 1%。桡足类平均数量为 289.86 ind/m³,在口门内的 SX01、SX03 样站没有发现桡足类,但在近外海 a 样站达 1324.90 ind/m³。

2000 年 3 月枯水期,桡足类占浮游动物总数量的 84.83%,平均值为 103.81 ind/m³。在近岸东部水域 SX12 样站没有发现桡足类,其最高值在口门内 SX03 样站为 618.00 ind/m³。除桡足类之外,枝角类占总数量 12.89%,其余种类均不足总数量 1%。从以上可见,桡足类数量在浮游动物总数量中占绝对优势,这一类群在枯水期口门内的 SX03 样站均有最高值,丰水期则没有发现;而其在近外海的 a 样站枯水期数量最少,丰水期数量最多。这与浮游动物数量分布规律相同,指示桡足类在浮游动物数量分布中起关键作用。

3.2 影响浮游动物分布的主要因素

3.2.1 盐度

盐度是影响浮游动物生长和发育的重要的环境因子^[21~23],特别是在河口区咸淡水交汇,盐度变化较大,不同类型浮游动物在不同盐度范围生活。而一些生理耐受性较强的种类在河口区分布范围较广。1999、2000 年长江河口盐度情况如图 8~图 10。在调查中发现,淡水性种类如近邻剑水蚤、汤匙华哲水蚤(*Sinocalanus dorrii*)、英勇剑水蚤、透明溞等均分布在长江河口口门内 SX01~SX06 样站,如近邻剑水蚤在 1999 年枯水期仅发现于 SX02 样站,此水域盐度为 2,1999 年丰水期汤匙华哲水蚤分布于 SX04 样站,盐度仅为 0.12,2000 年枯水期,汤匙华哲水蚤、近邻剑水蚤、英勇剑水蚤、透明溞均分布于 SX01~SX06 样站口门以内,除 SX06 样站,其余各样站盐度均小于 8。河口半咸水种华哲水蚤、虫肢歪水蚤、火腿许水蚤及江湖独眼钩虾(*Monoculodes limnophilus*)等主要分布在盐度 26 以下的 SX11~SX14 断面以西区域。高盐种类如精致真刺水蚤(*Euchaeta cinna*)、平滑真刺水蚤(*Euchaeta plana*)、肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、长眼短脚蚴(*Hyperia macrophthalma*)、太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)、细长脚蚴(*Themisto gracilipes*)等枯水期一般生活在盐度大于 29 的 SX11~SX14 以东区域。丰水期由于长江径流量大,冲淡水范围扩展,在 E1001a 断面盐度为 10~15,仍有少量高盐种类出现,说明其对低盐度也有一定的适应性。从调查情况看,枯水期径流量小,冲淡水范围小。1999 年枯水期为特枯年,盐水倒灌,10 等盐度线深入口门内,2000 年枯水期 10 等盐度线沿河口向东推出。1999 年丰水期,在长江冲淡水影响下,整个调查区域盐度低于 15,由各样站的浮游动物数量与盐度做回归分析,在枯水期均不成线性关系,在丰水期则成线性相关,回归方程为: $y = 0.34134 + 0.0112x$ ($r = 0.9341, n = 8$)

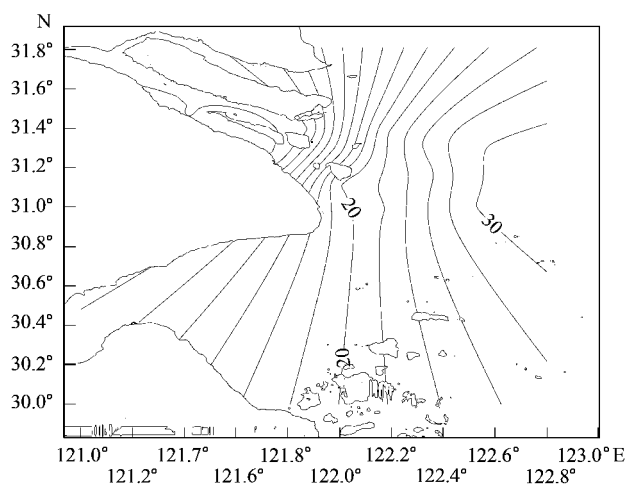


图 8 1999 年枯水期盐度分布

Fig. 8 Distribution of salinity in dry period in 1999

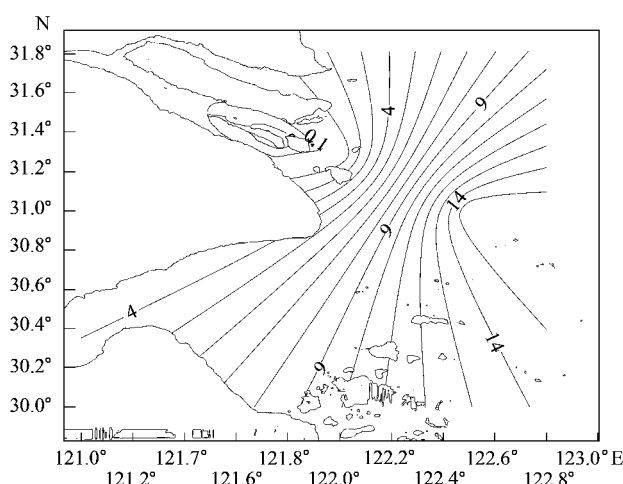


图 9 1999 年丰水期盐度分布

Fig. 9 Distribution of salinity in flood period in 1999

3.2.2 温度

温度是影响浮游动物生长发育的另一重要环境因子^[24~26],温度直接影响浮游动物的新陈代谢,而新陈代

谢是其各种生命活动的基础。通常浮游动物在最适温度条件下会大量繁殖,温度较低或较高都会限制浮游动物的生长。从长江河口水温特点看,1999、2000 年枯水期水温分别为 $9.1 \sim 11.4^{\circ}\text{C}$ 和 $7.8 \sim 10.6^{\circ}\text{C}$,1999 年丰水期水温 $27.0 \sim 30.0^{\circ}\text{C}$ 。枯水期水温分布为由河口近岸向近外海水温逐渐升高;丰水期,表层水温为河口内最高,向口外海滨降低。1999、2000 年 2~3 月温度较低,浮游动物平均数量分别为 79.07 、 $115.23 \text{ ind}/\text{m}^3$,远小于 1999 年 8 月的 $300.89 \text{ ind}/\text{m}^3$ 。1999 年、2000 年 2~3 月浮游动物种类数分别为 33、36 种,幼虫均为 6 种;1999 年 8 月为 64 种,幼虫 13 种,比 2~3 月份多 1 倍^[19]。通常认为浮游动物的许多种类在 $12 \sim 17^{\circ}\text{C}$ 生长良好,当水温高于 22°C ,不少种类滞育,但在丰水期,太平洋纺锤蚤、火腿许水蚤等在温度大于 25°C 仍有很大数量。可见,有更重要的环境因子决定这两种桡足类数量分布。

3.2.3 径流与海流

浮游动物缺乏发达的游泳器官,只能随波逐流在水中漂浮,径流、海流等对其分布都有影响^[27-31]。从调查结果看,在枯水期,长江径流量少,浮游动物种类、数量均较少。1999 年枯水期总数量平均为 $79.07 \text{ ind}/\text{m}^3$,2000 年枯水期为 $115.23 \text{ ind}/\text{m}^3$ 。丰水期,浮游动物种类增加 1 倍^[19],数量也明显增加,达 $300.89 \text{ ind}/\text{m}^3$ 。当然这同时与温度、盐度等影响有关。有资料研究表明^①:长江口浮游动物数量季节变化与径流量关系密切。在长江河口沿岸低盐水域即长江冲淡水区分布的一些低盐性种类如真刺蜃角水蚤、中华假磷虾、海龙箭虫(*Sagitta nageae*)等适盐下限较高,可作为长江中淡水扩布范围标志。在长江河口区,许多高温高盐浮游动物种类如精致真刺水蚤、平滑真刺水蚤、肥胖箭虫等一般认为是由台湾暖流携带而来,它们的分布反映了暖流动态。

3.2.4 食物

浮游植物作为浮游动物的主要食物来源,其数量的季节变化直接影响到浮游动物数量的变动。从调查结果看,1999 年枯水期,浮游动物的数量分布与浮游植物的分布趋势相似,均从口门内向近岸及近外海逐渐递减。在口门内水域、近岸水域及近外海区表、底层浮游植物平均数量分别为 23.73×10^6 、 12.10×10^6 、 $3.60 \times 10^6 \text{ ind}/\text{m}^3$ 和 22.98×10^6 、 11.32×10^6 、 $7.95 \times 10^6 \text{ ind}/\text{m}^3$ 。但 1999 年丰水期和 2000 年枯水期浮游动物的数量分布与浮游植物数量分布趋势并不一致。如 1999 年丰水期浮游植物在近岸水域表、底层数量最多分别达到 459.64×10^6 、 $223.68 \times 10^6 \text{ ind}/\text{m}^3$,而同期浮游动物在近外海水域最多达 $949.20 \text{ ind}/\text{m}^3$ 。有研究发现^[10]:长江口有时在某些海区浮游动物与浮游植物分布呈镶嵌分布,这除了表示两者直接摄食关系外,也反映了海区内生态系统的相关复杂现象及生物学过程。此外,碎屑是河口浮游动物食物来源之一^[32],其对长江口浮游动物数量分布的影响将有待研究。

4 结语

长江河口 1999~2000 年枯、丰水期浮游动物数量分布明显不同:枯水期浮游动物由口门内向口门外近岸及近外海水域减少,丰水期则相反。浮游动物数量分布一般由优势种的数量分布所决定,桡足类浮游在浮游动物总数量中占绝对优势,并在浮游动物数量分布中起关键作用,浮游动物数量分布受潮周期影响显著。适盐性不同的浮游动物生活在不同盐度范围水域。温度是影响浮游动物生长发育的另一重要环境因子,一般情

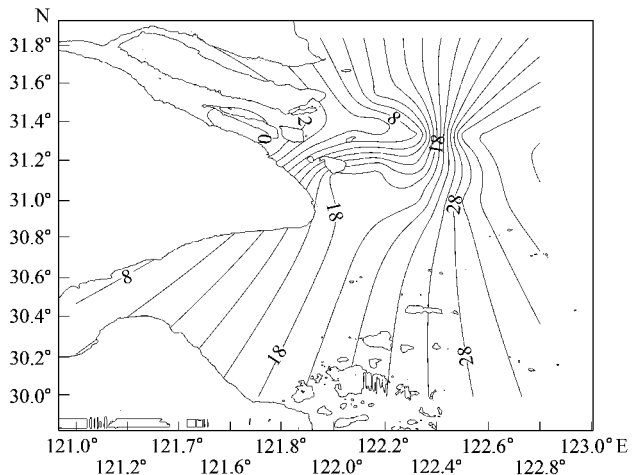


图 10 2000 年枯水期盐度分布

Fig. 10 Distribution of salinity in dry period in 2000

① 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室编. 全国海洋综合调查报告第八册, 中国近海浮游生物研究. 1977.

况下,浮游动物的种类、数量在温度较低的2~3月份比温度较高的8月份少。浮游动物在枯水期数量较少,在丰水期数量较多。长江河口浮游动物分布还受径流、海流等影响,一些种类可指示海流的动态。浮游植物作为浮游动物的主要食物来源,其数量的季节变化直接影响到浮游动物数量的变动,但两者数量分布趋势有时并不一致。

References:

- [1] Hoffmeyer M S, de Cao M S B. Zooplankton assemblages from a tidal channel in the Bahia Blanca Estuary, Argentina. *Brazilian Journal of Oceanography*, 2007, 55 (2): 97—107.
- [2] Morgado F, Quintaneiro C, Rodrigues E, *et al.* Composition of the trophic structure of zooplankton in a shallow temperate estuary (Mondego Estuary, western Portugal). *Zoological Studies*, 2007, 46 (1): 57—68.
- [3] Lam-Hoi T, Guiral D, Rougier C. Seasonal change of community structure and size spectra of zooplankton in the Kaw River estuary (French Guiana). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2006, 68 (1-2): 47—61.
- [4] Tackx M, Azemar F, Bouletreau S, *et al.* Zooplankton in the Schelde estuary, Belgium and the Netherlands: long-term trends in spring populations. *Hydrobiologia*, 2005, 540: 275—278.
- [5] David V, Sautour B, Chardy P, *et al.* Long-term changes of the zooplankton variability in a turbid environment: The Gironde Estuary (France). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2005, 64 (2-3): 171—184.
- [6] Tan Y H, Huang L M, Chen Q C, *et al.* Seasonal variation in zooplankton composition and grazing impact on phytoplankton standing stock in the Pearl River Estuary, China. *Continental Shelf Research*, 2004, 24 (16): 1949—1968.
- [7] Murrel M C, Lores E M. Phytoplankton and zooplankton seasonal dynamics in a subtropical estuary: importance of cyanobacteria. *Journal of Plankton Research*, 2004, 26 (3): 371—382.
- [8] Chen Y Q, Zheng G X, Zhu Q Q. A preliminary study of the zooplankton in the Changjiang Estuary area. *Donghai Marine Science*, 1985, 3(3): 53—61.
- [9] Xu Z L, Wang Y L, Chen Y Q, *et al.* An ecological study on zooplankton in Maximum turbid zone of estuarine area of Changjiang(Yangtze) River. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(1): 39—48.
- [10] Chen Y Q, Xu Z L, Wang Y L, *et al.* An ecological study on zooplankton in plume front zone of Changjiang(Yangtze) River estuarine area I. biomass and distribution of dominant species. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(1): 49—58.
- [11] Chen Y Q, Xu Z L, Wang Y L, *et al.* An ecological study on zooplankton in plume front zone of Changjiang(Yangtze) River estuarine area II. species composition, community structure and indicator species. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(1): 59—63.
- [12] Xu Z L, Wang Y L, Chen Y Q, *et al.* An ecological study on zooplankton in plume front zone of Changjiang(Yangtze) River estuarine area III. vertical distribution of dominant species. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(1): 64—70.
- [13] Xu Z L, Wang Y L, Bai X M, *et al.* An ecological study on zooplankton in the Changjiang estuary. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, 6 (5): 55—58. Suppl.
- [14] Wang K, Wang R, Zuo T, Gao S W. Analysis of zooplankton biomass in Changjiang River Estuary and Adjacent waters. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2004, 35(6): 568—576.
- [15] Xu Z L, Shen X Q. Zooplankton biomass and its variation in water near Changjiang Estuary. *Resources and Environment in The Yangtze Basin*, 2005, 14(3): 282—286.
- [16] Xu Z L. Zooplankton in north branch waters of Changjiang Estuary. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1341—1345.
- [17] Xu Z L. Character of zooplankton community and its variation in the water near the Yangtze River estuary. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24 (7): 780—784.
- [18] Ji H H, Ye S F. Ecological distribution characteristics of zooplankton and its relationship with environmental factors in the Changjiang River estuary. *Marine Sciences*, 2006, 30(6): 23—30.
- [19] Guo P Y, Shen H T, Liu A C, *et al.* The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 892—900.
- [20] State Bureau of Technical Supervise. The specification for oceanographic survey marine biological survey(GB 12763.6-91). Beijing: China Standard Press, 1991.
- [21] Hoffmeyer M S. Decadal change in zooplankton seasonal succession in the Bahia Blanca estuary, Argentina, following introduction of two zooplankton species. *Journal of Plankton Research*, 2004, 26 (2): 181—189.
- [22] Kibirige I, Perissinotto R. The zooplankton community of the Mpenjati Estuary, a South African temporarily open/closed system. *Estuarine Coastal*

And Shelf Science, 2003, 58 (4): 727—741.

- [23] Vieira L, Azeiteiro U, Re P, *et al.* Zooplankton distribution in a temperate estuary (Mondego estuary southern arm: Western Portugal). *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 2003, 24: 163—173. (Suppl. 1).
- [24] Marques S C, Azeiteiro U M, Marques J C, *et al.* Zooplankton and ichthyoplankton communities in a temperate estuary: spatial and temporal patterns. *Journal of Plankton Research*, 2006, 28 (3): 297—312.
- [25] Tackx MLM, De Pauw N, Van Mieghem R, *et al.* Zooplankton in the Schelde estuary, Belgium and the Netherlands. Spatial and temporal patterns. *Journal of Plankton Research*, 2004, 26 (2): 133—141.
- [26] Froneman P W. Zooplankton community structure and biomass in a southern African temporarily open/closed estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2004, 60 (1): 125—132.
- [27] Bergeron J P. Contrasting years in the Gironde estuary (Bay of Biscay, NE Atlantic) springtime outflow and consequences for zooplankton pyruvate kinase activity and the nutritional condition of anchovy larvae: an early view. *Ices Journal of Marine Science*, 2004, 61 (6): 928—932.
- [28] Hoover R S, Hoover D, Miller M, *et al.* Zooplankton response to storm runoff in a tropical estuary: bottom-up and top-down controls. *Marine Ecology-Progress Series*, 2006, 318: 187—201.
- [29] Bergeron J P. Small-scale variability of zooplankton pyruvate kinase activity in the Gironde Estuary plume (Atlantic French Coast): A case study under unusually low freshwater discharge. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2006, 69 (3-4): 662—666.
- [30] Marques S C, Pardal M A, Pereira M J, *et al.* Zooplankton distribution and dynamics in a temperate shallow estuary. *Hydrobiologia*, 2007, 587: 213—223.
- [31] Champalbert G, Pagano M, Sene P, *et al.* Relationships between meso- and macro-zooplankton communities and hydrology in the Senegal River Estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2007, 74 (3): 381—394.
- [32] Yang Y F, Wang Q, Chen J F, *et al.* Research advance in estuarine zooplankton ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 576—585.

参考文献:

- [8] 陈亚瞿, 郑国兴, 朱启琴. 长江口区浮游动物初步研究. *东海海洋*, 1985, 3(3): 53~61.
- [9] 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿, 等. 长江口最大浑浊带浮游动物的生态研究. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 39~48.
- [10] 陈亚瞿, 徐兆礼, 王云龙, 等. 长江口河口锋区浮游动物生态研究 I. 生物量及优势种的平面分布. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 49~58.
- [11] 陈亚瞿, 徐兆礼, 王云龙, 等. 长江口河口锋区浮游动物生态研究 II. 种类组成、群落结构、水系指示种. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 59~63.
- [12] 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿, 等. 长江口河口锋区浮游动物生态研究 III. 优势种的垂直分布. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 64~70.
- [13] 徐兆礼, 王云龙, 白雪梅, 等. 长江口浮游动物生态学研究. *中国水产科学*, 1999, 6(5) 增刊: 55~58.
- [14] 王克, 王荣, 左涛, 等. 长江口及邻近海区浮游动物总生物量分析. *海洋与湖沼*, 2004, 35(6): 568~576.
- [15] 徐兆礼, 沈新强. 长江口水域浮游动物生物量及其年间变化. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(3): 282~286.
- [16] 徐兆礼. 长江口北支水域浮游动物的研究. *应用生态学报*, 2005, 16(7): 1341~1345.
- [17] 徐兆礼. 长江口邻近水域浮游动物群落特征及变动趋势. *生态学杂志*, 2005, 24(7): 780~784.
- [18] 纪焕红, 叶属峰. 长江口浮游动物生态分布特征及其与环境的关系. *海洋科学*, 2006, 30(6): 23~30.
- [19] 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性. *生态学报*, 2003, 23(5): 892~900.
- [20] 国家技术监督局. 海洋调查规范-海洋生物调查 (GB 12763.6-91). 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [32] 杨宇峰, 王庆, 陈菊芳, 等. 河口浮游动物生态学研究进展. *生态学报*, 2006, 26(2): 576~585.