

长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性

郭沛涌¹, 沈焕庭², 刘阿成³, 王金辉³, 杨元利³

(1. 浙江大学环境科学研究所, 杭州 310029; 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种类组成、群落结构及多样性并初步探讨了三峡工程对长江河口浮游动物的影响及长江河口水环境的生物监测。调查共发现浮游动物 87 种,甲壳动物占绝对优势,共 59 种。在所有浮游动物中桡足类 31 种,其次为水母类,有 9 种,此外,枝角类、毛颚类各 8 种。3 次采样浮游动物的优势种主要有河口半咸水种和近岸低盐种类如华哲水蚤(*Sinocalanus sinensis*)、火腿许水蚤(*Schmackeria poplesia*)、虫肢歪水蚤(*Tortanus vermiculus*)、真刺唇角水蚤(*Labidocera eucaeta*)等,还有长江径流带到河口的淡水种如近邻剑水蚤(*Cyclops vicinus vicinus*)、英勇剑水蚤(*Cyclops strenuus*)、透明 (*Daphnia hyalina*)等。一些浮游动物可作为水系指示种,其分布、数量反映了不同水系分布变化,长江河口浮游动物有 5 类水系指示种。通过对长江河口浮游动物群落聚类分析发现,1999、2000 年枯水期浮游动物群落结构相似,可分为河口类群、近岸类群和近外海类群。1999 年丰水期只形成近岸和近外海类群。浮游动物种类数由口门内向口门外方向有逐渐增加的趋势。浮游动物种类数由北向南变化趋势一致。大潮与小潮、涨憩与落憩等潮汐作用对浮游动物影响往往因采样时间与区域等的不同而不同。对长江河口 3 次采样的物种多样性指数和均匀度指数进行了计算,结果表明:浮游动物多样性指数 1999 年枯水期最低,1999 年丰水期最高。

关键词:浮游动物; 种类组成; 群落结构; 物种多样性; 长江河口

The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary

GUO Pei-Yong¹, SHEN Huan-Ting², LIU A-Cheng³, WANG Jin-Hui³, YANG Yuan-Li³

(1. Institute of Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029 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*, 2003, 23(5): 892~900.

Abstract: Based on the data collected from three cruises during the dry (February to March, 1999 and 2000) and the wet (August 1999) periods, the species composition, community structure and species

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(No:40231017);上海市重点建设学科资助项目;河口海岸国家重点实验室开放基金资助项目

收稿日期:2002-02-01;修订日期:2002-12-10

作者简介:郭沛涌(1969~),男,河北石家庄市人,博士,主要从事环境科学与生态学研究。E-mail:guopeiyong@sina.com

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(40231017), Key Subjects Foundation of Shanghai and Opening Foundatoion of state key laboratory of estuarine and coastal research

Received date: 2002-02-01; **Accepted date:** 2002-12-10

Biography: 郭沛涌, Ph. D., main research field: environmental science and ecology. E-mail: guopeiyong@sina.com

diversity of zooplankton in Changjiang Estuary were determined. The study also aim to determine preliminarily the influence of Three Gorges Dam to the zooplankton community and the hydrodynamic environment in Changjiang Estuary. Results showed that 87 species in total was identified. Among them crustacean was the dominant group, contained 59 species. The zooplankton community composed of 31 species copepod, 9 species of medusae, and 8 species of both cladocera and chaetognatha. The dominant species were from brackish estuarine and nearshore waters, such as *Sinocalanus sinensis*, *Schmackeria poplesia*, *Tortanus vermiculus*, *Labidocera euchaeta*, and from freshwater that flushed downstream via river runoff, such as *Cyclops vicinus vicinus*, *Cyclops strenuus*, *Daphnia hyalina*. Some zooplankton species can be used as the current system indicators. The fluctuation of their distribution and abundance reflect the change of hydrodynamic regime in their resident systems. In Changjiang Estuary, there are 5 current system indicators. Results of cluster analyses showed that the community structure during the dry period in 1999 was similar to that in 2000. Three groups were identified; estuarine, nearshore, and offshore groups. During the wet period, only 2 were found; nearshore and offshore groups. The species richness increased gradually from estuary towards open ocean. It also increased from north towards south. The influence of tidal cycle to the community structure varied with the sampling time (and date) and sites. Results of Simpson Diversity Index, Shannon-Weiner Diversity Index, and Evenness Index showed that the species diversity was lowest during the dry period and highest during the wet period.

Key words: zooplankton; species composition; community structure; species diversity; Changjiang estuary

文章编号:1000-0933(2003)05-0892-09 中图分类号:Q178.1, Q958.1 文献标识码:A

河口是河流和海洋相互作用的复杂区域,在人类生存与发展过程中起着非常重要的作用,河口区往往是人口密集、经济发达地区,河口水域还是重要的渔业区。另一方面,河口可看作是淡水与海洋生物栖息地之间的生态交错区,该区域的环境因子变化与河流和海洋均有差异,具有自己的特殊性。河口区浮游动物在河口生态系统结构和生源要素循环中起重要作用,其动态变化影响许多鱼类和无脊椎动物的种群生物量^[1~3],它们通过捕食作用还控制浮游植物生物量^[4~6],其粪便颗粒是垂直碳通量的重要组成^[7]。长江河口是世界最大河口之一,关于长江河口的浮游动物自 1958 年以来,有关学者已进行过一些调查研究^[8~18],它们多为渔业资源生物普查,侧重区系与分类研究,生态学研究较少。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。这对深刻理解长江河口物质通量,提高对河口生态系统结构与功能以及其对环境压力的响应认识,特别是关注大型人类工程对河口生态系统的影响,都具有十分重要的意义,也可及有关研究提供重要基础资料。

1 长江河口自然概况

长江河口是一个丰水、多沙、中潮、有规律分叉的三角洲河口,上自安徽大通下至水下三角洲前缘为长达 700km 的河口区。根据动力条件和河槽演变特性的差异,长江河口区可分成 3 个区段:大通至江阴,长约 400km,为近口段;江阴至口门,长约 220km,为河口段;自口门向外至 30~50m 等深线附近,为口外海滨。长江河口三级分叉,四口入海,江面宽阔。长江河口水量丰沛,最大流量为 92 600m³/s,最小流量 4 620 m³/s,年平均流量 29 300m³/s,年径流总量 9.21×10¹¹m³。径流量有明显的季节变化,5~10 月分为洪季,占全年的 71.7%,11~4 月份为枯季,占全年的 28.3%。长江河口是中等强度的潮汐河口,河口段受非正规半日浅海潮的影响,进潮量巨大,在径流和潮流的作用下,致使沙岛淤涨分合剧烈,河势演变复杂。长江河口北支盐水入侵距离比南支远,盐水入侵枯季一般可达北支上段和南支中段,洪季一般可达北支中段,南支在拦门沙附近^[16]。在长江河口河水与海水经常交汇、径流与潮流相互抗衡的地带发育最大浑浊带,最大浑浊带对河口泥沙特别是细颗粒泥沙的聚集和沉降起着十分重要的作用,它在河口“过滤器”效应中扮演重要角色^[19]。为弄数据工程已于 1997 年 11 月实现了大江截流,2009 年工程竣工。三峡水库为季节性调节水库,依丰、平、枯水年不同情况调节下泄流量,总的来看,经三峡水库调节水量后,下游 2 月份流量增加最

多,10 月份流量减少最多,但全年入海水量基本不变。

2 材料与方法

2.1 研究区域与采样时间

华东师范大学河口海岸国家重点实验室与国家海洋局东海环境监测中心于 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。

2.2 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(表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底层,H 为水深)采集悬浮物水样,转流和涨急、落急时加密到半小时一次。在涨急、落急、涨憩、落憩时 3 层法(表层、0.6H、底层,H 为水深)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。大面站浮游动物采集以调查船到达站位为准,立即采集。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,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。

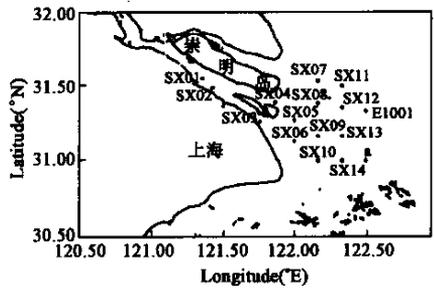


图 1 长江河口采样站位图

Fig.1 Sampling stations in Changjiang estuary

浮游动物的多样性指数和均匀度指数采用以下计算公式:

$$\text{Simpson 多样性指数}(D) \quad D = 1 - \sum_{i=1}^S (n_i/N)^2$$

式中,S 为种数; n_i 为 i 种的个体数; N 为总个体数。

$$\text{Shannon-Weaver 多样性指数}(H) \quad H = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) \log_2(n_i/N)$$

式中,S 为种数; n_i 为 i 种的个体数; N 为总个体数。

$$\text{均匀度指数}(J) \quad J = \frac{H}{\log_2 S}$$

式中,H 为 Shannon-Weaver 多样性指数;S 为种数。

3 结果

3.1 种类组成

3 次调查共记录浮游动物 87 种,浮游幼虫 15 类。甲壳动物占绝对优势,共 59 种,占总种数的 67.82%。在所有浮游动物中桡足类 31 种,占总种数的 35.63%。其次为水母类,有 9 种,占总种数的 10.34%。此外,枝角类、毛颚类各 8 种,分别占总种数的 9.2%。

3.1.1 所采浮游动物中,绿杯水母(*Phialidium virens*)、岛居似帚虫(*Lygdamis nesioties*)、缺刺秀体(*Diaphanosoma aspinosum*)、透明(*Daphnia hyalina*)、长刺(*Daphnia longispina*)在长江口区以前未见正式报道。显然,3 种淡水枝角类是由长江径流携带入长江河口区的。在 3 次采样调查中均出现的浮游动物有 14 种,它们是五角水母(*Muggiaea atlantica*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、精致真刺水蚤(*Euchaeta concinna*)、平滑真刺水蚤(*Euchaeta plana*)、缘齿厚壳水蚤(*Scolecithrix micobarica*)、背针胸刺水蚤(*Centropages dorsispinatus*)、华哲水蚤(*Sinocalanus sinensis*)、火腿许水蚤(*Schmackeria poplesia*)、真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)、虫肢歪水蚤(*Tortanus vermiculus*)、钩虾(*Gammarus* sp)、长额刺糠虾(*Acanthomyia*)、万寿菊水蚤(*Diacyclops thomasi*)、漂浮囊糠虾(*Gastrosaccus pelagicus*)、百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)等。从不同种类分布看,1999 年采样枯水期径流强度小,平均为 9 555m³/s,河口半咸水种类华哲水蚤、虫肢歪水蚤在口

门内外均有发现,1999 年采样丰水期径流强度变大为 $60\ 100\text{m}^3/\text{s}$,河口种类虫肢歪水蚤、火腿许水蚤在口门内没有发现,它们只分布于 $121^{\circ}52'E$ 以东水域。2000 年枯水期,淡水种类增多,如近邻剑水蚤、英勇剑水蚤、透明 等,但均分布于 $122^{\circ}00'E$ 以西近口门内水域。

3.1.2 优势种 3 次调查浮游动物的优势种根据每个种的优势度值(Y)来确定^[12,13],

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

式中, n_i 为 i 种的个体数, N 为所有种类总个体数, f_i 为出现频率。 Y 值大于 0.02 的种类为 3 次调查的优势种(表 1)。

表 1 3 次采样长江河口浮游动物优势种

Table 1 Dominant species of zooplankton in three cruises in Changjiang estuary

时间 Time	优势种 Dominant species	优势度 Dominant Y
1999-02~03 枯水期 Dry Period	华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i> (Poppe,1895)	0.2937
	虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i> Shen,1955	0.2260
	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i> Giesbrecht,1889	0.0972
	火腿许水蚤 <i>Schmackeria poplesia</i> Shen,1955	0.0574
1999-08 丰水期 Flood period	火腿许水蚤 <i>Schmackeria poplesia</i> Shen,1955	0.2362
	太平洋纺锤蚤 <i>Acartia pacifica</i> Steuer,1915	0.0852
	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i> Giesbrecht,1889	0.0648
2000-02~03 枯水期 Dry period	虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i> Shen,1955	0.0645
	华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i> (Poppe,1895)	0.2408
	近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus vicinus</i> Uljanin, 1875	0.0673
	虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i> Shen,1955	0.0346
	透明 <i>Daphnia hyalina</i> Leydig, 1860	0.0311
	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i> Giesbrecht,1889	0.0299
	英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuus</i> Fischer,1851	0.0297

从上表可见,各采样期浮游动物的优势种均为桡足类(透明 除外),这与其它一些河口相似^[21,22]。从种类组成上看,1999 年枯水期和丰水期浮游动物优势种以河口半咸水种和近岸低盐种类如华哲水蚤、虫肢歪水蚤、火腿许水蚤、真刺唇角水蚤等为主。2000 年枯水期优势种除河口半咸水种以外,还有长江径流带到河口的淡水种如近邻剑水蚤、英勇剑水蚤、透明 等。

3.1.3 水系指示种 长江河口水文条件复杂,对研究水域而言,主体水团是长江径流入海后与近岸变性水团混合而形成冲淡水体即长江冲淡水。此外,东海表层、次表层水团,黄、东海混合水团,黄海冷水团等都有影响^[16]。一些浮游动物可作为水团、水系指示种,其分布、数量反映了不同水团分布变化。关于长江河口浮游动物水系指示种,陈亚瞿等曾进行过研究,并筛选出 5 类水系指示种^[14]。3 次调查发现淡水指示种类有近邻剑水蚤、汤匙华哲水蚤、英勇剑水蚤、透明 等,枯、丰水期均分布于口门以内 SX01-SX06 样站。河口半咸水指示种有华哲水蚤、虫肢歪水蚤、火腿许水蚤及江湖独眼钩虾(*Monoculodes limnophilus*)等,主要分布于 $122^{\circ}20'E$ 以西各样站,即 SX11-14 样站断面以西。火腿许水蚤在丰水期可扩展到 $122^{\circ}30'E$ 的 a 样站。暖水指示种有精致真刺水蚤、平滑真刺水蚤、肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、长眼短脚 (*Hyperia macrophthalma*)等主要分布于 $122^{\circ}20'E$ 以东近外海水域,反映了台湾暖流的影响范围,即 SX11-SX14 样站断面以东。沿岸低盐水系指示种有真刺唇角水蚤、中华假磷虾(*Pseudeuphausia sinicas*)、中华刺糠虾(*Acanthomysis sinensis*)、海龙箭虫(*Sagitta nagae*)等,主要分布于 $121^{\circ}52'E$ 以东即 SX04 样站以东口门外各样站,其分布反映了长江径流向东伸展的范围和强度。黄海混合水及黄海冷水水系指示种有太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)、细长脚 (*Themisto gracilipes*),仅在 2000 年枯水期 SX11、E1001 样站发现,且数量少。

3.2 群落结构数据

选取 3 次采样出现频率较高的 20 种浮游动物进行聚类分析,指标间距离采用 Pearson 相关系数,系统

聚类方法采用最短距离法。聚类分析在统计软件进行,结果如图 2~4。

从图 2A 可见,因 1999 年采样枯水期径流仅为 9555m³/s,潮流携带河口半咸水种类进入口门内与淡水种类混杂,浮游动物群落明显可分为河口类群、近岸类群和近外海类群。河口类群主要分布在 SX01-SX05 样站,即 122°00'E 以西样站。近岸类群主要分布在 SX06-SX11、SX13、SX14 样站,即 122°00'E-122°20'E 之间的样站。近外海类群分布在 122°20'E 以东的三个样站。从图 2B 可见,1999 年丰水期,由于径流作用加强,河口半咸水种类被携带分布于口门外,口门内淡水种类也较少,不形成明显的类群,只形成近岸类群分布于口门外 SX04-SX10、SX13-14 样站和近外海类群,分布于 SX12、E1001 和 a 样站。从图 2C 可见,2000 年枯水期,淡水种类较多,径流作用减弱,一些河口半咸水种类被潮流带入口门内与淡水种类形成河口类群,主要分布在 122°00'E 以西 SX01-06 样站和 SX08 样站。近岸类群主要分布在 SX9-10 和 SX13-14 样站。近外海类群主要分布在 SX07、SX11-12、E1001 和 a 样站。总体来看,1999 年枯水期浮游动物群落结构与 2000 年枯水期相似。

3.3 物种多样性

3.3.1 浮游动物在各采样站种类数 据长江河口实际情况,选取横向、纵向各两个断面,各断面样站的浮游动物种类数如图 3~图 6。

从图 3 可见,1999、2000 年枯水期浮游动物种类数从口门内向近外海逐渐增加,在口门的 SX06 样站有较高值为 13 种,随后种类数减少。在 1999 年丰水期,从口门内向近外海浮游动物种类数增加趋势明显,并在 a 样站达 25 种。从图 4 可见,1999 年枯、丰水期浮游动物种类数由口内向近外海逐渐增加,在 E1001 最高值达 31 种,而 2000 年枯水期浮游动物种类数由口门内向近外海趋于减少,但在近外海的 E1001 达到 18 种。由图 5、图 6 从纵断面 3~4 来看,浮游动物种类数从北向南一般有相同的变化趋势。同纬度的 SX07 与 SX11 样站在 1999 年枯、丰水期和 2000 年枯水期具有较高浮游动物种类数,而同纬度的 SX08 与 SX12 样站一般有较少的浮游动物种类数。除 SX13 在 2000 年丰水期有较高种类数之外,同经度的 SX09 与 SX10、SX13 与 SX14 样站在 1999 年枯、丰水期和 2000 年枯

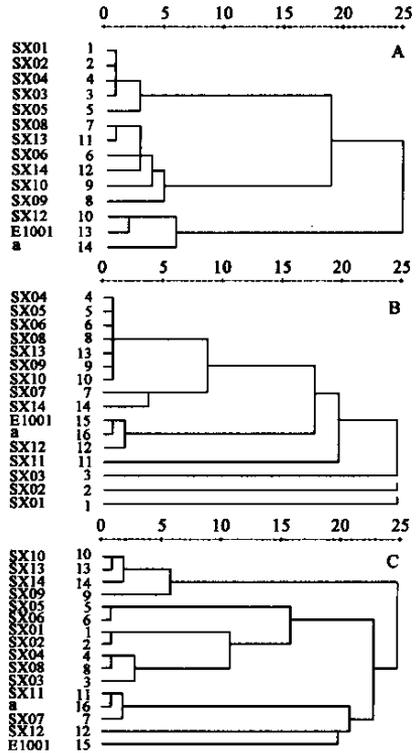


图 2 长江河口浮游动物群落聚类分析图

Fig. 2 Dendrogram of zooplankton in Changjiang estuary
 A 1999 年枯水期 in dry period in 1999; B 1999 年丰水期 in flood period in 1999; C 2000 年枯水期 in dry period in 2000



图 3 浮游动物在断面 1 各样站的种类数

Fig. 3 Species numbers of zooplankton in different sampling stations of section 1



图 4 浮游动物在断面 2 各样站的种类数

Fig. 4 Species numbers of zooplankton in different sampling stations of section 2

水期均有相同的种类数。在影响各样站浮游动物种类数的因素中,除径流、盐度等之外,浑浊度也有重要作用。在浑浊度高的样站如 SX04,浮游动物种类较少,可能与光限制浮游植物生长,造成恶劣的捕食条件有关^[23]。但高浑浊度区浮游动物种类数不一定都低,如 Morgan^[24]在对最大浑浊带浮游动物相关和时间序列分析发现,*Coullana canadensis* 密度与浑浊度正相关,其滞留机制与最大浑浊带的浓缩颗粒物相同,都与近底环流有关,这可能也是 SX06 样站浮游动物种类较多的原因。

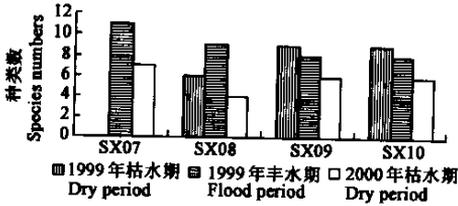


图 5 浮游动物在断面 3 各样站的种类数

Fig. 5 Species numbers of zooplankton in different sampling stations of section 3

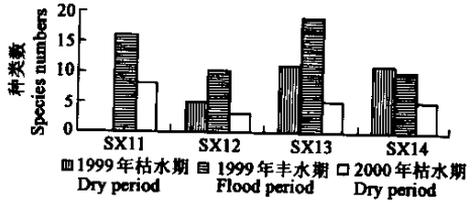


图 6 浮游动物在断面 4 各样站的种类数

Fig. 6 Species numbers of zooplankton in different sampling stations of section 4

3.3.2 不同潮周期种类数的变化 长江河口是中等强度的潮汐河口,潮汐对河口浮游动物分布作用不容忽视。为了进一步探讨潮汐作用对浮游动物种类多样性的影响,选取若干连续采样站进行大、小潮及其涨憩、落憩取样观测。结果如图 7~9。

由图 7 可见,在 1999 年枯、丰水期 SX05、SX06 站浮游动物种类数在大潮一般大于、等于小潮,但 SX04 站浮游动物种类数大潮少于小潮。除丰水期小潮外,在 1999 年枯水期大、小潮和丰水期大潮浮游动物种类数 SX04 < SX05 < SX06 站。从图 8 可见,1999 年枯水期大潮涨憩时小于落憩。而该年枯、丰水期大潮涨憩均大于落憩。在 1999 年枯水期大潮涨憩,口门内 3 个站 SX01-03 浮游动物种类数少于口门外 SX05、SX06 站,而落憩时这种趋势不明显,口门内的 SX03 站和口门外的 SX06 站同时有较高值。1999 年丰水期大潮涨憩和落憩浮游动物种数 SX06 > SX05 > SX04 站。总的来看,被测连续样站大潮涨憩、落憩时浮游动物种类数 SX04 站较少, SX06 站较多。

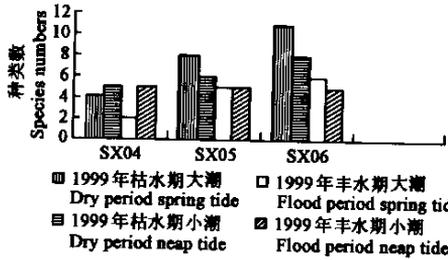


图 7 大、小潮浮游动物种类数

Fig. 7 Species numbers of zooplankton in spring tide and neap tide

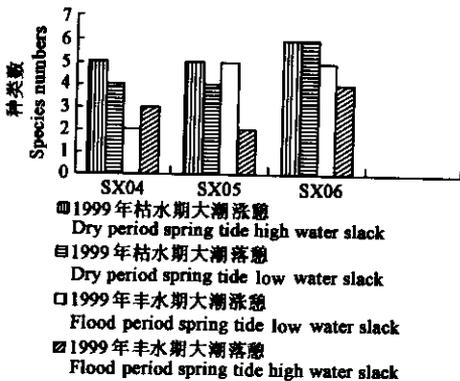


图 8 大潮涨、落憩浮游动物种类数

Fig. 8 Species numbers of zooplankton in high water slack and low water slack of spring tide

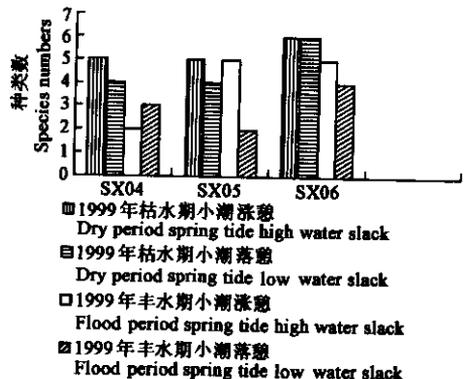


图 9 小潮涨、落憩浮游动物种类数

Fig. 9 Species numbers of zooplankton in high water slack and low water slack of neap tide

从图 9 可见,在 1999 年枯、丰水期小潮 SX05、SX06 站浮游动物种类数涨憩大于落憩(SX06 站枯水期小潮除外)。SX04 站在枯水期小潮也是如此,但丰水期小潮相反,即浮游动物种类数涨憩小于落憩。从种类组成上看,1999 年枯水期大、小潮,涨、落憩河口半咸水种类华哲水蚤、虫肢歪水蚤、火腿许水蚤在 SX01~SX06 站均占优势,而沿岸低盐种类真刺唇角水蚤只在 SX04~06 站占优,在 SX01~03 站并未发现。1999 年丰水期大、小潮虫肢歪水蚤、火腿许水蚤在 SX05、SX06 站均为优势种,小潮时 SX04 站也是如此。

3.3.3 物种多样性 物种多样性是指群落中物种数目的多少,它是衡量群落规模和重要性的基础。种类越多,各个种个体数量分布越均匀,物种多样性指数越大。分别采用 Simpson 多样性指数(D)、Shannon-Weaver(H)多样性指数和均匀度指数(J)分别对长江河口 3 次采样的物种多样性指数和均匀度指数进行了计算。计算结果如表 2。

从表中可见,3 次调查 Simpson 多样性指数(D)与 Shannon-Weaver 多样性指数(H)反映大小情况一致。1999 年枯水期浮游动物种类数最少,为 33 种,优势种个体数量一般,空间异质性不高,多样性指数最低, D 与 H 值分别为 0.7191 和 2.2499,均匀度指数(J)为 0.4460。1999 年丰水期,浮游动物总种数较多,为 64 种,优势种个体数量大,空间异质性较高, D 与 H 值最高,分别为 0.7901 和 2.9136,均匀度指数为 0.4856。2000 年 2 月枯水期总种类数与 1999 年枯水期相似为 35 种,但优势种类较多,个体数量一般,空间异质性强,多样性指数略高, D 与 H 值分别为 0.7519 和 2.6193,均匀度指数为 0.5107。

表 2 长江河口浮游动物多样性指数及均匀度指数
Table 2 Diversity Index and Evenness Index of zooplankton in Changjiang estuary

年度 Year	多样性 指数(D) Simpson	多样性 指数(H) Shannon- Weaver	均匀度 指数(J) Evenness index
1999 年枯水期 ^①	0.7191	2.2499	0.4460
1999 年丰水期 ^②	0.7901	2.9136	0.4856
2000 年枯水期 ^①	0.7519	2.6193	0.5107

①Dry period ②Flod period

4 讨论

4.1 长江河口浮游动物中甲壳动物占绝对优势,其中,桡足类占总种数的 1/3,优势种也均为桡足类,这与历次调查结果相似。浮游动物运动能力很弱,只能随水流移动,它们受环境因子影响很大,在河口区,由于咸淡水混合交汇,环境复杂多变,既生活有淡水种类,又有海洋种类,还有河口特有的咸淡水种类,一方面,其空间分布与水系、海流关系很密切,可作为水系的良好指示生物^[3,25,26]。另一方面,许多环境因子如盐度、温度、营养盐、径流、潮流等都对其分布、生长、发育等有影响^[27~30]。

4.2 对长江河口浮游动物群落聚类分析结果显示,河口浮游动物群落结构在 1999 年、2000 年枯水期相似,可分为河口类群,近岸类群和近外海类群,而 1999 年丰水期群落结构在强径流作用下,河口内不形成一定的类群,只在口门外水域形成近岸和近外海类群。通常,长江径流携带入长江河口区的淡水浮游动物种类相对较少,在长江河口口门内区域浮游动物种类数不是很多。高浑浊度对浮游动物多样性会有一定影响,但这种影响可能并不单一。而浑浊度较低,透明度较高时,由于浮游植物生长较好,浮游动物食物条件改善,会对浮游动物多样性增加有一定的帮助。大潮、小潮、涨憩、落憩等潮汐作用对浮游动物影响往往会因采样时间和区域等的不同而不同。总的看来,长江河口丰水期浮游动物多样性指数大于枯水期,原因可能有以下几方面:一方面丰水期温度等条件适宜,浮游植物大量繁殖,为浮游动物提供了充足的饵料,浮游动物种类增多。而枯水期温度一般较低,浮游植物减少,浮游动物生长条件不适,多样性指数较低。另一方面可能是由于浮游动物种类本身具有不同生态特点而出现不同的季节分布等原因造成的。

4.3 当淡水径流被大型水库大量存留时,在河口区持续的高盐度水体将会使河口区原有的浮游动物群落结构遭到破坏,而单纯水库放水产生的暂时强淡水径流在种群水平对特有种并无太大帮助^[31]。关于三峡工程对长江河口浮游动物群落的影响,作者更认为三峡工程建成后,由于 10 月份下泻流量减少,长江径流作用减弱,淡水类群进一步向中、上河口方向退缩,半咸水、低盐近岸类群向河口方向侵入,黄海水团和外海水携带的高盐生态类群在口外海滨增多。2 月份水库下泻流量增加,但环境条件并不适合大部分淡水浮游动物的繁殖,浮游动物种类基本保持不变,半咸水种有可能向东推移。应该指出的是,由于浮游动物的生长发育受诸多因素影响,浮游动物种类不同对外界环境因子变化的响应有很大不同,不同种类耐受性、灵敏

性不同,一些种类对环境因子变化具有一定范围的适应性和反应滞后性。因此,对长江河口浮游动物的长期监测尤为重要。

4.4 从生态学观点出发,生物与环境的统一是生物与环境相互作用的结果。水环境决定了生物种群或群落结构特征;反之,生物的个体、种群或群落的变化,可以客观反映出水体质量的变化规律。据上述原理,生物应用于长江河口水质监测有效、科学,且具有化学监测不可替代的作用。在浮游动物监测中,要注意群落结构和功能的时空变化,在种的水平上更强调优势种及污染敏感种。在河口区,由于环境条件严酷,生物种类和数量都较少,对河口区特殊生态系具有指示作用的优势种、敏感种就具有重要意义。应该指出,关于浮游动物对长江河口水质污染的监测研究,尚处于基础资料积累阶段,许多重要浮游动物如枝角类、桡足类等也有许多种类对水质变化敏感,长江河口这些生物与水质相关性研究至今尚属空白。因此,将浮游动物与水质直接相联系进行调查分析,则是以后工作的一个重要方面。

References:

- [1] Newton G M. Estuarine ichthyoplankton ecology in relation to hydrology and zooplankton dynamics in a salt-wedge estuary. *Marine and Freshwater Research*, 1996, **47**(2):99~111.
- [2] Merrell J R and Stoecker D K. Differential grazing on protozoan microplankton by developmental stages of the calanoid copepod *Eurytemora affinis* Poppe. *Journal of Plankton Research*, 1998, **20**(2):289~304.
- [3] Zheng Z, Li S J, Xu Z Z. Marine planktonology. Beijing: China Ocean Press, 1984.
- [4] Strom S L, Brainard M A, Holmes J L, et al. Phytoplankton blooms are strongly impacted by microzooplankton grazing in coastal North Pacific waters. *Marine Biology*, 2001, **138**(2):355~368.
- [5] Griffin S L, Herzfeld M and Hamilton D P. Modelling the impact of zooplankton grazing on phytoplankton biomass during a dinoflagellate bloom in the Swan River Estuary, Western Australia. *Ecological Engineering*, 2001, **16**(3):373~394.
- [6] Lonsdale D J, Coper E M and Doall M. Effects of zooplankton grazing on phytoplankton size structure and biomass in the lower Hudson River Estuary. *Estuaries*, 1996, **19**(4):874~889.
- [7] Wang R, Fang C L. Copepods feeding activities and its contribution to downwards vertical flux of carbon in the east China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1997, **28**(6):579~587.
- [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] Chen Y Q, Zheng G X, Zhu Q Q. *Composition and quantitative distribution of crustacean plankton in the Changjiang Estuary area*. Transactions of the Chinese crustacean society. Beijing: Science Press, 1986.
- [10] Zhu Q Q. An investigation on the ecology of zooplankton in Changjiang Estuary and Hangzhou Bay. *Journal of Fisheries of China*, 1988, **12**(2):111~123.
- [11] Lai W, Lin W Y, Du N S. *Ecological investigation on the zooplankton community of the Changjiang River Estuary*. Proceedings of the Fourth Chinese Oceanological and Limnological Science Conference. Beijing: Science Press, 1991.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Luo B Z, Shen H T. *Three Gorges Dam Project and estuarine ecological environment*. Beijing: Science Press, 1994.
- [17] Comprehensive Survey Office of Ocean Group of Committee of Science and Technology of the People Republic of China. *Report on Comprehensive investigation of ocean (volume 8)*: Studies on offshore plankton of China, 1977.
- [18] 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.
- [19] Shen H T, Pan D A. *Turbidity maximum in the Changjiang estuary*. Beijing: China Ocean Press, 2001.
- [20] State Bureau of Technical Supervise. *The specification for oceanographic survey marine biological survey* (GB 12763.6~91). Beijing: China Standard Press, 1991.

- [21] Padmavati G and Goswami S C. Zooplankton ecology in the Mandovi-Zuari estuarine system of Goa, west coast of India. *Indian Journal of Marine Sciences*, 1996, **25**(3):268~273.
- [22] Mishra S and Panigrahy R C. Zooplankton ecology of the Bahuda estuary (Orissa), east coast of India. *Indian Journal of Marine Sciences*, 1999, **28**(3):297~301.
- [23] Burdloff D, Gasparini S, Sautour B, *et al.* Is the copepod egg production in a highly turbid estuary (the Gironde, France) a function of the biochemical composition of seston? *Aquatic Ecology*, 2000, **34**(2):165~175.
- [24] Morgan C A, Cordell J R and Simenstad C A. Sink or swim? Copepod population maintenance in the Columbia River estuarine turbidity-maxima region. *Marine Biology*, 1997, **129**(2):309~317.
- [25] Zheng Z. Studies on estuarine plankton. *Ziran Zazhi*, 1982, **5**(3):218~221.
- [26] Bi H S, Sun S, Gao S W, *et al.* The ecological characteristics of the zooplankton community in the Bohai Sea I. species composition and community structure. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(5):715~721.
- [27] Mishra S and Panigrahy R C. The Tintinnids (Protozoa; Ciliata) of the Bahuda estuary, east coast of India. *Indian Journal of Marine Sciences*, 1999, **28**(2):219~221.
- [28] Vareethiah K. Zooplankton quantitative indices in a bar-built estuary. *Ecology, Environment and Conservation*, 1999, **5**(2):89~93.
- [29] Zakardjian B A, Runge J A, Plourde S, *et al.* A biophysical model of the interaction between vertical migration of crustacean zooplankton and circulation in the Lower St. Lawrence Estuary. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1999, **56**(12):2420~2432.
- [30] Peitsch A, Kopcke B and Bernat N. Long-term investigation of the distribution of *Eurytemora affinis* (Calanoida; copepoda) in the Elbe Estuary. *Limnologica*, 2000, **30**(2):175~182.
- [31] Wooldridge T H and Callahan R. The effects of a single freshwater release into the Kromme Estuary. 3: Estuarine zooplankton response. *Water SA*, 2000, **26**(3):311~318.

参考文献:

- [3] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [7] 王荣, 范春雷. 东海浮游桡足类的摄食活动及其对垂直碳通量的贡献. 海洋与湖沼, 1997, **28**(6):579~587.
- [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] 陈亚瞿, 郑国兴, 朱启琴. 长江口区浮游甲壳动物组成和数量分布. 甲壳动物论文集. 北京: 科学出版社, 1986.
- [10] 朱启琴. 长江口杭州湾浮游动物生态调查报告. 水产学报, 1988, **12**(2):111~123.
- [11] 赖伟, 林温育, 堵南山. 长江口区浮游动物生态的初步研究. 第四次中国海洋湖沼科学会议论文集. 北京: 科学出版社, 1991.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 罗秉征, 沈焕庭. 三峡工程与河口生态环境. 北京: 科学出版社, 1994.
- [17] 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.
- [18] 徐兆礼, 王云龙, 白雪梅, 等. 长江口浮游动物生态学. 中国水产科学, 1999, **6**(5)增刊:55~58.
- [19] 沈焕庭, 潘定安. 长江河口最大浑浊带. 北京: 海洋出版社, 2001.
- [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.
- [25] 郑重. 河口浮游生物研究. 自然杂志, 1982, **5**(3):218~221.
- [26] 毕洪生, 孙松, 高尚武, 等. 渤海浮游动物群落生态特点 I. 种类组成与群落结构. 生态学报, 2000, **20**(5):715~721.