

椒江口春、秋季浮游动物分布特征及 与主要环境因子的关系*

杜萍 徐晓群 刘晶晶 曾江宁 陈全震** 寿鹿 廖一波 周青松

(国家海洋局第二海洋研究所, 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 2009年5月和10月对椒江口(121.35 °E~121.85 °E, 28.50 °N~28.80 °N)浮游动物进行调查, 分析其群落结构、生物量和丰度的时空分布特征及与主要环境因子的关系. 结果表明, 该海域浮游动物有明显的季节变化, 春季鉴定到14大类50种, 卡玛拉水母(*Malagazzia carolinae*)为绝对优势种, 秋季鉴定到14大类73种, 优势种分别为百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)、双生水母(*Diphyes chamissonis*)、亚强真哲水蚤(*Eucalanus subcrassus*)、微刺哲水蚤(*Canthocalanus pauper*)、中华胸刺水蚤(*Centropages sinensis*)和肥胖箭虫(*Sagitta enflata*); 多样性指数为秋季(2.59)高于春季(1.82), 生物量和丰度为春季(972.66 mg/m³和1 743.54 ind/m³)远高于秋季(65.30 mg/m³和31.94 ind/m³). 总生物量和丰度的空间分布由优势种决定, 春季高值区出现在咸淡水交汇的出海口处; 秋季有沿河口向外递增的趋势. 典范对应分析(CCA)表明, 营养盐、盐度和溶解氧为影响春秋季节椒江口浮游动物分布的环境因子; 浮游动物群落存在明显的季节和空间异质性; 各物种适宜的生态环境不同. 与类似河口的现状相比, 椒江口的浮游动物种类丰富, 可能与影响该河口的水团多样有关; 与历史资料相比, 椒江口4、10月份浮游动物的生物量、丰度及优势类群保持相对稳定. 图9 表6 参44

关键词 椒江口; 浮游动物; 时空分布; 环境因子; 优势种; 典范对应分析

CLC Q958.891

Distribution of Zooplankton in the Jiaojiang Estuary and Its Response to Environment Factors in Spring and Autumn*

DU Ping, XU Xiaoqun, LIU Jingjing, ZENG Jiangning, CHEN Quanzhen**, SHOU Lu,

LIAO Yibo & ZHOU Qingsong

(Second Institute of Oceanography, Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, State Oceanic Administration of China, Hangzhou 310012, China)

Abstract To investigate the temporal and spatial distribution of community structure, biomass and abundance of zooplankton in the Jiaojiang Estuary and its response to environmental factors in different season, two cruises in the Jiaojiang Estuary were carried out in May and October 2009, respectively. Totally, 106 species were identified in all samples, belonging to 16 groups. Among them copepod was the dominant group, followed by pelagic larva and hydromedusae. Our results indicated that species composition presented significant seasonal variation. Totally, 50 species in 14 groups were identified in spring, and *Malagazzia carolinae* was the predominant species in all samples. However, 73 species in 14 groups were identified in autumn, in which there were 6 dominant species: *Sagitta bedoti*, *Diphyes chamissonis*, *Eucalanus subcrassus*, *Canthocalanus pauper*, *Centropages sinensis*, and *Sagitta enflata*. The diversity index of zooplankton was higher in autumn (2.59) than that in spring (1.82), while the average biomass and abundance in spring (972.66 mg/m³ and 1 743.54 ind/m³) were significantly higher than those in autumn (65.30 mg/m³ and 31.94 ind/m³). The distribution of biomass and abundance were determined by the dominant species, which was related to ocean currents. The areas with higher biomass and abundance in spring were both in the intersectional estuary of brackish water. The biomass and abundance in autumn increased gradually from estuary to opening ocean. The correlation between community structure of zooplankton and environmental parameters was calculated by method of canonical correspondence analysis (CCA), and the result showed that the mainly environmental factors influencing zooplankton distribution in the Jiaojiang Estuary were nutrients, salinity and dissolved oxygen. Each species represented strongly ecological adaptability to environment, and samples of zooplankton displayed apparent seasonal and spatial variation. Because of variety of water masses in the Jiaojiang Estuary, the number of zooplankton species in the Jiaojiang estuary was richer than other similar estuaries. Compared with the historical data, the biomass, abundance and dominant groups of zooplankton in the Jiaojiang estuary in April and October were kept relatively stable. Fig 9, Tab 6, Ref 44

Keywords Jiaojiang Estuary; zooplankton; temporal and spatial distribution; environmental factor; dominant species; canonical correspondence analysis

CLC Q958.891

收稿日期: 2010-10-09 接受日期: 2010-11-23

*国家“973”项目(N0. 2010CB428903)、我国近海海洋综合调查与评价专项(Nos. ZJ908-01-01-3, ZJ908-02-02, ZJ908-04-02)、浙江省自然科学基金项目(N0. Y5100401)和浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室开放基金项目(N0. 2010F30003)资助 Supported by State Key Basic R & D Program of China (973 Program, No. 2010CB428903), the Special Project of China for Marine Survey and Assessment (Nos. ZJ908-01-01-3, ZJ908-02-02, ZJ908-04-02), the Natural Science Foundation of Zhejiang, China (No. Y5100401) and the Open Fund Project of Key Laboratory of Zhejiang (N0. 2010F30003)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: chenqz6509@126.com)

河口是海洋与淡水的生态交汇区, 具有独特的物理、化学、生物性质和极高的生产力。由于自然演替和生物地理屏障作用, 河口正在成为海洋的污染源和污染径流的边际过滤器, 生态环境敏感脆弱^[1]。椒江口区域与世界许多河口地区相同, 人口密集, 社会经济发达, 但由于早期发展缺乏对海洋生态的保护, 长期的医药化工、船舶修造等工业已造成苯胺、多环芳烃、重金属等多种污染物在沉积物和生物体内富集^[2-4], 并引起潮间带底栖生物群落的明显变化^[5]。水体中苯胺和硝基苯的污染程度也较高, 尤其在化工排污口附近^[6], 而该海区水生生物的变化仍未见报道。

浮游动物是海洋食物链中的关键环节, 它通过摄食影响或控制初级生产力, 其种群动态还可能影响许多鱼类及其他资源群体的生物量, 同时, 浮游动物也是环境变化的重要指示者^[7], 因此, 研究浮游动物分布特征对了解水体环境具有一定意义。鉴于此, 本研究在椒江口布设23个站, 分析春秋两季的浮游动物分布特征, 并运用典范对应分析法(Canonical correspondence analysis, CCA)分析浮游动物的分布与各环境因子的关系, 结果可为河口环境变化对浮游动物的影响研究提供参考, 为河口资源的可持续利用提供科学依据。

1 研究海域与方法

1.1 研究海域

椒江是浙江省第三大河流。椒江口位于浙江中部, 为开敞的河口湾, 呈喇叭型向外延伸, 外缘有东矾列岛、台州列岛为屏障, 水深大多小于10 m, 口门外发育有水深小于2 m的拦门浅滩。椒江口属山溪性强潮河口, 河口潮汐属非正规半日潮, 头门以东具有正规半日潮的特性, 水动力条件的最大特点是潮差大、潮流差强、径流变率大。海门平均潮差在4 m左右, 涨潮平均流速为78 cm/s, 落潮为68 cm/s, 向湾外流速逐渐减小。潮流运动形式, 白沙以西为往复流, 白沙—黄琅一线以东海域旋转流性质渐渐明显。进入海门断面的年平均涨潮量是年平均径流量的40多倍, 潮量是塑造椒江河口区的主要动力之一。椒江口是高混浊河口, 含沙量分布为“两头清, 中间浑”, 存在明显的最大浊度带^[8]。

1.2 样品采集及分析

2009年5月7~12日和2009年10月13~18日, 在121.35°E~121.85°E与28.50°N~28.80°N的椒江口海区分别进行春秋2个航次的调查, 设置23个站位(图1)。

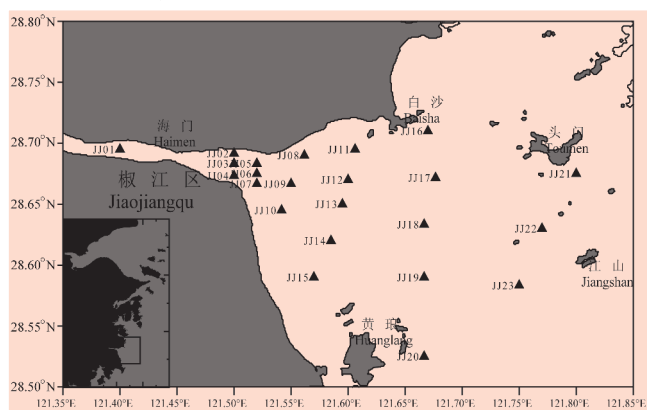


图1 椒江口采样站位图

Fig. 1 Location of the sampling stations in the Jiaojiang Estuary

浮游动物样品采集用带流量计的浅水I型浮游生物网由底层至表层垂直拖网, 将样品装入600 mL的塑料瓶中, 加中性甲醛溶液固定保存(终浓度5%)。于室内将杂物挑去后测定浮游动物的湿重生物量, 在体视镜和显微镜下按《海洋调查规范—海洋生物调查》^[9]对样品进行种类鉴定和计数。

盐度、水温、水深使用温盐深仪(Conductivity-temperature-depth, CTD)现场直接测出, 化学因子如溶解氧(Dissolved oxygen, DO)、营养盐、叶绿素a等带回实验室按《海洋监测规范—海水分析》^[10]测定。

1.3 数据处理

浮游动物Shannon-Wiener多样性指数(H')^[11]的计算公式为:

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

式中: P_i 为该站第 i 种浮游动物个体数占该站总个体数的比值, S 代表该站动物的种类数。

优势度(Y)计算公式为:

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

式中: N 为该海区出现的所有种类的总丰度; n_i 为第 i 种的丰度; f_i 为该种在各站位出现的频率^[12]。取 $Y \geq 0.02$ 时, 为浮游动物优势种。

采用Surfer绘制水深、盐度、浮游动物生物量、丰度的空间分布图; 采用SPSS 13.0软件进行数据统计; 采用Sigmaplot 10.0绘制浮游动物多样性指数分布图; 采用CANOCO软件包对物种数据做去趋势对应分析(Detrended correspondence analysis, DCA), 然后进行样品、物种与环境因子的典范对应分析(CCA)。

2 结果

2.1 环境因子

椒江口附近海区水深变化如图2, 河口外的一个断面南侧, 出现2 m以下的浅滩, 其他区域水深在3.5~10 m之间。水深较浅, 各环境因子几乎不存在垂直梯度。

椒江口表层平均水温春季为22.4℃, 秋季为21.9℃, 无水平梯度。盐度、溶解氧和营养盐浓度的水平分布沿河口方向有明显的梯度变化。表层水体盐度的水平分布如图3, 春季盐度范围为7.6~28.2, 均值为21.4, 秋季盐度范围为12.3~25.4, 均值为20.9。两季都呈现沿河口向外递增的趋势, 春季还呈现湾南侧高于北侧的现象, 此与春季外海水从湾南侧侵入椒江口有关^[8]。DO也呈现沿河口向外递增的趋势, 但浅滩处稍低, 春季的变化范围为4.40~9.37 mg/L, 均值为7.33 mg/L; 秋季变化范围为5.79~7.53 mg/L, 均值为7.17 mg/L。营养盐浓度沿河口向外递减, 根据国家海水水质标准^[13]的无机氮磷含量指标, 调查海区春季除最外2个断面属二类或三类水体外, 内侧均属超四类水体; 秋季各站皆属超四类水体。

2.2 浮游动物群落结构

2.2.1 种类组成 椒江口春秋两季共鉴定出浮游动物106种, 分属于16大类, 其中, 桡足类种类最多, 其次为浮游幼体, 再次为水螅水母类(表1)。

春季检测到浮游动物14大类50种, 秋季检测到14大类73种。生态类群以河口和近岸低盐类群、暖温带近海类群、暖水性广布类群为主, 热带和亚热带外海种偶有出现。两季相

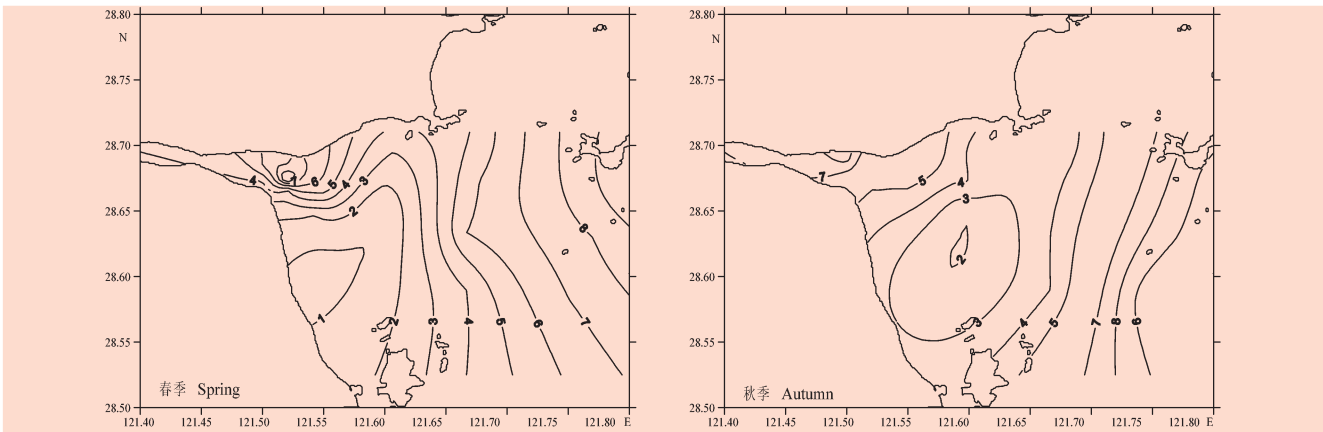


图2 椒江口水深图(δ/m)
Fig. 2 Water depth in Jiaojiang Estuary (δ/m)

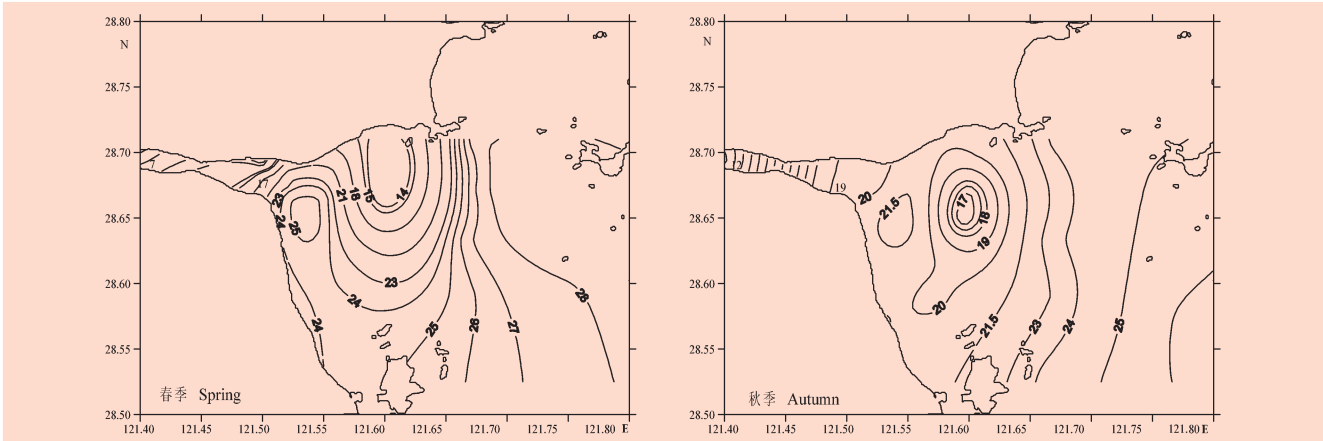


图3 椒江口表层海水盐度的水平分布图
Fig. 3 Horizontal distribution of surface water salinity in the Jiaojiang Estuary

浮游动物类群 Zooplankton group	种类数 Species number		
	春季 Spring	秋季 Autumn	总计 Total
水螅水母类 Hydromedusae	6	6	12
管水母类 Siphonophora	2	1	3
栉水母类 Ctenophora	2	1	2
毛颚类 Chaetognatha	4	5	6
桡足类 Copepoda	13	30	39
涟虫类 Cumacea	1	0	1
枝角类 Cladocera	3	1	3
糠虾类 Mysidacea	1	3	4
磷虾类 Euphausiacea	1	3	3
十足类 Decapoda	1	3	4
等足类 Isopod	0	1	1
端足类 Amphipoda	1	2	2
被囊动物 Tunicata	3	2	3
多毛类 Polychaeta	0	1	1
软体动物 Mollusca	2	0	2
浮游幼体 Pelagic larva	10	14	20
合计 Total	50	73	106

同的浮游动物种类仅有20种. 浮游动物种类名录参见表4.

2.2.2 优势种分布 调查海区5月份的优势种只有卡玛拉水母 (*Malagazzia carolinae*), 丰度高, 占浮游动物总丰度的83.13%; 10月份的浮游动物种类数较多, 丰度低且均匀, 优势

种有6种, 它们的丰度和仅占浮游动物总丰度的62.47% (表2).

春季优势种卡玛拉水母丰度的水平分布如图4. 由图可见, 其丰度高值区出现在河口咸淡水交汇处, 最高值达到25 000 ind/m³, 出现在JJ09站位; 次高值区为椒江口外南侧海域; 北侧海域的丰度则很低, 低于10 ind/m³; 河口内的JJ01站位未检测到卡玛拉水母.

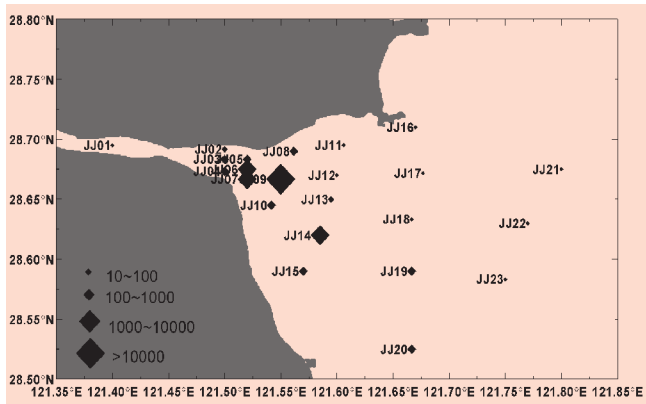


图4 春季卡玛拉水母丰度的水平分布图 (n/ind m⁻³)
Fig. 4 Horizontal distribution of abundance of *Malagazzia carolinae* in spring (n/ind m⁻³)

2.2.3 浮游动物多样性分布 椒江口浮游动物春季的

表2 椒江口春、秋季浮游动物优势种的优势度 (Y) 及平均丰度
Table 2 Dominance and average abundance of dominant species of zooplankton in the Jiaojang Estuary in spring and autumn

	优势种 Dominant species	优势度 Dominance (Y)	平均丰度 (n/ind m ⁻³) Average abundance	占浮游动物总丰度的百分比 Percentage in the total zooplankton abundance
春季 Spring	卡玛拉水母 <i>Malagazzia carolinae</i>	0.72	1449.43	83.13%
	百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i>	0.15	5.17	
	双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i>	0.07	4.22	
秋季 Autumn	亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>	0.06	3.67	62.47%
	微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	0.04	2.15	
	中华胸刺水蚤 <i>Centropages sinensis</i>	0.03	1.96	
	肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i>	0.03	2.79	

Shannon-Wiener多样性指数范围为0.23~3.65, 均值为1.82; 秋季范围为1.29~3.88, 均值为2.59. 秋季的Shannon-Wiener多样性指数高于春季, 水平分布如图5, 由图可见, 除个别站位外, 浮游动物的多样性指数在春秋季节都呈现河口外高于河口内的特征.

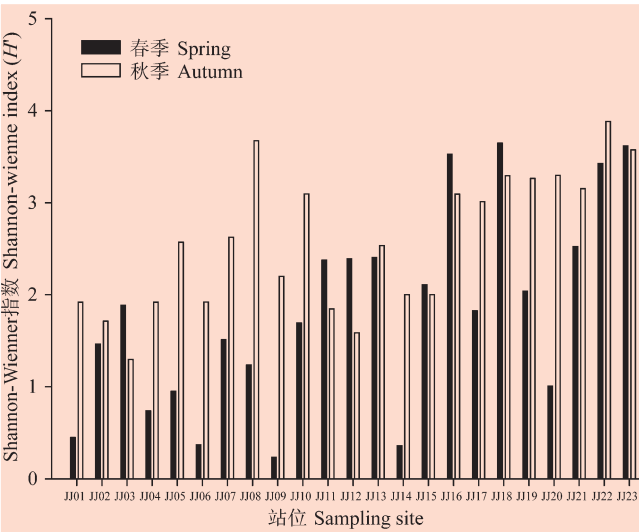


图5 椒江口浮游动物Shannon-Wiener指数 (H') 的水平分布图
Fig. 5 Horizontal distribution of Shannon-Wiener index (H') of zooplankton in the Jiaojang Estuary

2.3 浮游动物生物量和丰度分布

春季浮游动物的生物量范围为47.2~5 562.7 mg/m³, 均值为972.66 mg/m³, 水平分布如图6, 由图可见, 生物量最高区出现在以JJ07站位 (5 562.7 mg/m³) 为中心的河口区, 主要由卡玛拉水母引起; 而次高值区为以JJ22站位为中心的椒江口外侧, 主要由中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)、拟细浅

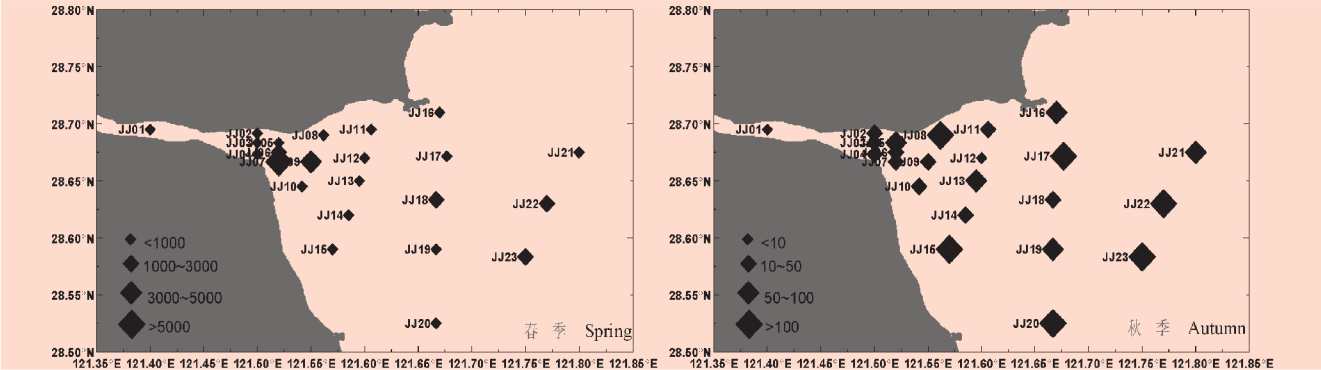


图6 椒江口浮游动物生物量的水平分布图 (ρ/mg m⁻³)
Fig. 6 Horizontal distribution of the biomass of zooplankton in the Jiaojang Estuary (ρ/mg m⁻³)

室水母 (*Lensia subtiloides*)、球型侧腕水母 (*Pleurobrachia globosa* Mosser)、异体住囊虫 (*Oikopleura dioica*)、软拟海樽 (*Dolioettagenbauri*)、百陶箭虫 (*Sagitta bedoti*)、拿卡箭虫 (*Sagitta nagae*) 等引起; 而相对低值区出现在河口内的JJ01站位和河口外的浅滩区, 其中JJ12站位的生物量最低.

秋季的生物量范围是6.0~171.9 mg/m³, 均值为65.30 mg/m³. 水平分布如图6, 呈河口外高于河口内的特征, 此外, 靠岸较近的JJ08、JJ16、JJ17、JJ20站位的生物量较同断面其他站位高. 生物量的差异主要由优势种双生水母、百陶箭虫、肥胖箭虫、亚强真哲水蚤、微刺哲水蚤引起.

浮游动物丰度的水平分布如图7. 春季的丰度范围为9.7~25 575.0 ind/m³, 均值为1 743.54 ind/m³, 最高值在JJ09站位, 优势种为卡玛拉水母; 次高值为JJ01站位, 优势种为淡水种近亲裸腹蚤 (*Moina affinis*) 和北碚中剑水蚤 (*Mesocyclops pehpeiensis*); 其他站位的丰度分布呈湾外侧高于内侧, 南侧高于北侧的趋势. 秋季浮游动物的丰度范围为3.57~ 88.43 ind/m³, 均值为31.94 ind/m³, 丰度与生物量呈极其显著正相关 ($r^2 = 0.624$, $P < 0.001$), 整体趋势也是河口外高于河口内, 高丰度主要由优势种引起.

2.4 浮游动物群落与环境因子的关系

对研究区域春秋季节的物种数据进行去趋势对应分析, 结果显示, 春季排序轴最大梯度长度为17.501, 秋季为4.762, 表明浮游动物群落对生态梯度的响应是非线性的, 因此适宜选用CCA单峰模型排序.

2.4.1 浮游动物样品的CCA分析 本研究中, 春秋季节各采23个样品, 对46个样品进行CCA排序, 排序结果如图8. 从图8可以看出, 46个样品在环境因子排序图上的分布有明显的季节分化, 春季样品主要分布在第一主轴的左侧, 秋季样品均分布在第一主轴的右侧. 叶绿素a与第一主轴高度相关, 是影响

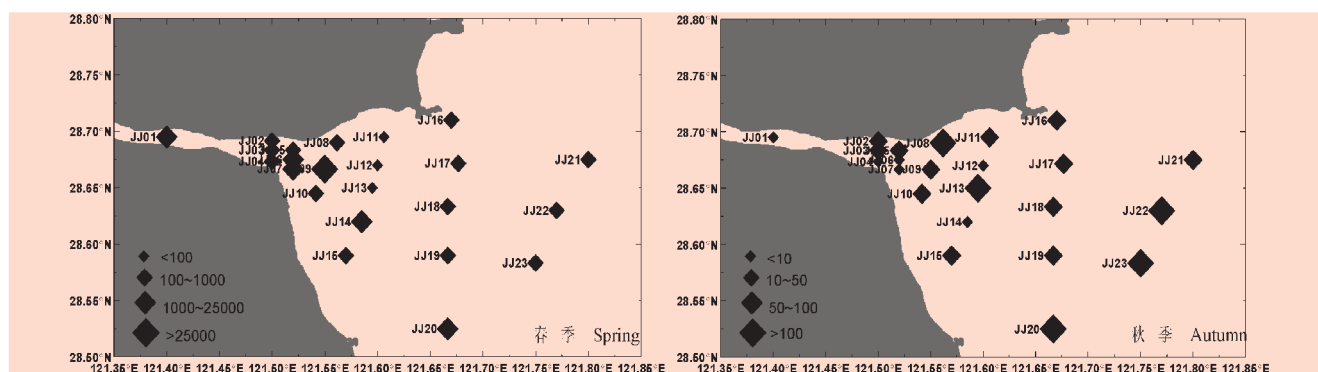


图7 椒江口浮游动物丰度的水平分布图 ($n/\text{ind m}^{-3}$)
Fig. 7 Horizontal distribution of the abundance of zooplankton in the Jiaojiang Estuary ($n/\text{ind m}^{-3}$)

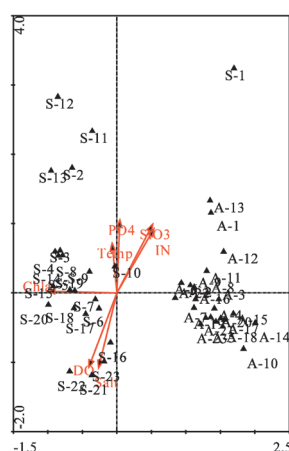


图8 椒江口浮游动物样品的双轴等级排列图

Fig. 8 Ordination biplot of zooplankton samples in the Jiaojiang Estuary

S: 表示春季样品; A: 表示秋季样品
S: Spring samples; A: Autumn samples

样品季节分化的主要环境因子;其次,氮硅营养盐、DO浓度和盐度也对样品的季节分化有一定影响。

46个样品在环境因子上的分布也有明显的空间分化。图8中,不同站位的样品沿第二主轴分化,而温度、盐度、DO和营养盐与第二主轴高度相关,即温盐、DO和营养盐为影响空间分化的主要环境因子。

2.4.2 主要浮游动物种类和环境因子的CCA分析 根据浮游动物的丰度和出现频率,春季选取了42种浮游动物(占春季总丰度的99.9%),秋季选取了54种浮游动物(占秋季总丰度的98.1%),分别与环境因子作CCA分析。

表3是CCA分析中一、二物种排序轴与环境因子的相关系数。由表3可见,春秋季均呈现环境因子与第一排序轴的相

表3 CCA分析排序轴与环境因子相关性系数

Table 3 Axes-environment correlation coefficients of CCA

环境因子 Environmental factor	春季 Spring		秋季 Autumn	
	SPEC AX1	SPEC AX2	SPEC AX1	SPEC AX2
温度 Temperature	0.3017	-0.3866	-0.0175	-0.5022
盐度 Salt	-0.8814	-0.0212	-0.7703	-0.4054
溶解氧 DO	-0.8887	0.2878	-0.7926	0.0639
无机氮 IN	0.8634	-0.0326	0.7835	0.4168
磷酸盐 PO ₄	0.8114	-0.0489	0.8599	0.3543
硅酸盐 SiO ₃	0.9165	-0.0343	0.8238	0.4447
叶绿素a Chla	-0.5433	-0.2625	0.056	0.4417

关性较高,由相关系数可知,营养盐、盐度、DO是影响椒江口春秋季节浮游动物的空间分布的主要因子。

主要浮游动物种类在环境因子排序轴上的分布如图9,表4给出了图中代码代表的浮游动物种类.由图9可见,CCA排序将浮游动物分成不同的类群,春秋季主要类群均为河口和近岸低盐类群.

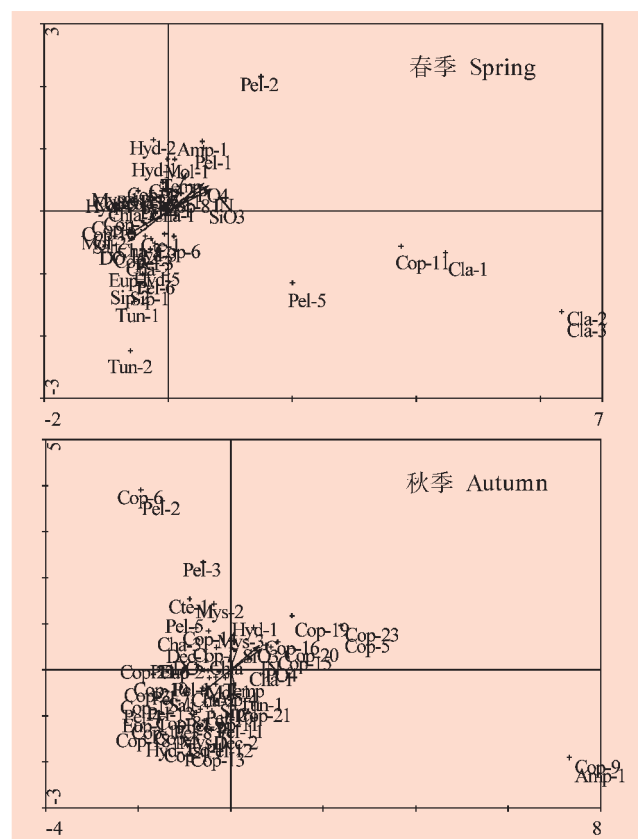


图9 椒江口浮游动物种类与环境变量之间的双轴等级排列图

Fig. 9 Ordination biplot of zooplankton species and environmental variables in Jiaojiang Estuary

春季排序图中,近亲裸腹蚤(Cla-1)、透明蚤(Cla-2)、大型蚤(Cla-3)、北碚中剑水蚤(Cop-11)分布在排序轴的右下方,为淡水种;华哲水蚤幼体(Pel-2)、短尾类大眼幼体(Pel-5)分布在第一主轴的中部,为咸淡水种;软拟海樽(Tun-2)分布在排序轴的左下方,属亚热带外海种;其余种

类多聚集于排序轴中心、第二主轴左侧,属于河口和近海低盐种。

秋季排序轴中,隆线似哲水蚤(Cop-9)、钩虾(Amp-1)分布在排序轴的右下方,它们只在JJ01站位被检测到,此处为高营养盐、低盐、低DO的环境,有报道发现,隆线似哲水蚤(*Calanoides cavinatus*)作为指示生物在台湾浅滩南部高营养盐、低DO的上升流水体中终年存在,可见它们可能是高营养盐、低盐、低DO环境的指示物种;长尾基齿哲水蚤(Cop-6)和真哲水蚤幼体(Pel-2)分布在排序轴的左上方,为高盐种;绝大多数种类聚集于排序轴中心、第二主轴左侧,为河口和近海低盐种。

表4 CCA分析中的浮游动物种类代码
Table 4 Codes of zooplankton species for CCA

春季 Spring				秋季 Autumn			
编号 Code	物种 Species	编号 Code	物种 Species	编号 Code	物种 Species	编号 Code	物种 Species
Hyd-1	卡玛拉水母 <i>Malagazzia carolinae</i>	Cop-10	大眼剑水蚤 <i>Corycaeus</i> sp.	Hyd-1	锡兰和平水母 <i>Eirene ceylonensis</i>	Cop-21	锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i>
Hyd-2	蕲枝水母 <i>Obelia</i> sp.	Cop-11	北碚中剑水蚤 <i>Mesocyclops pehpeiensis</i>	Hyd-2	真瘤水母 <i>Eutima levuka</i>	Cop-22	达氏波水蚤 <i>Undinula darwinii</i>
Hyd-3	耳状囊水母 <i>Euphysa aurata</i>	Cla-1	近亲裸腹蚤 <i>Moina affinis</i>	Sip-1	双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i>	Cop-23	角突隆剑水蚤 <i>Oncaea conifera</i>
Hyd-4	双手水母 <i>Amphinema dinema</i>	Cla-2	透明蚤 <i>Daphnia hyalina</i>	Cte-1	球形侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i>	Mys-1	中华节糠虾 <i>Siriella sinensis</i>
Hyd-5	崂山秀氏水母 <i>Sugiura chengshanensis</i>	Cla-3	大型蚤 <i>Daphnia magna</i>	Cha-1	百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i>	Mys-2	漂浮囊糠虾 <i>Gastrosaccus pelagicus</i>
Sip-1	拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i>	Mys-1	台湾小井伊糠虾 <i>Iiella formosensis</i>	Cha-2	肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i>	Mys-3	新糠虾属 <i>Neomysis</i> sp.
Sip-2	大西洋五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i>	Eup-1	中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	Cha-3	强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i>	Eup-1	中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>
Cte-1	刺胞栉水母 <i>Euchlora rubra</i>	Dec-1	细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	Cop-1	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	Eup-2	三刺樱磷虾 <i>Thysanopoda tricuspidata</i>
Cte-2	球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i>	Amp-1	钩虾 <i>Gammaridae</i> spp.	Cop-2	亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>	Dec-1	中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>
Cha-1	中华箭虫 <i>Sagitta sinica</i>	Tun-1	异体住囊虫 <i>Oikopleura dioica</i>	Cop-3	强真哲水蚤 <i>Eucalanus crassus</i>	Dec-2	日本毛虾 <i>Acetes japonicus</i>
Cha-2	百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i>	Tun-2	软拟海樽 <i>Dolioletta gegenbauri</i>	Cop-4	微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	Amp-1	钩虾 <i>Gammaridae</i> spp.
Cha-3	拿卡箭虫 <i>Sagitta nagae</i>	Mol-1	玫瑰明螺 <i>Atlanta rosea</i>	Cop-5	弓角基齿哲水蚤 <i>Clausocalanus arcuicornis</i>	Iso-1	等足类 Isopoda
Cop-1	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	Mol-2	马蹄螺 <i>Limacina trochiformis</i>	Cop-6	长尾基齿哲水蚤 <i>Clausocalanus furcatus</i>	Tun-1	软拟海樽 <i>Dolioletta gegenbauri</i>
Cop-2	太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	Pel-1	瓣鳃类幼体 <i>Lamellibranchia</i> larva	Cop-7	小拟哲水蚤 <i>Paracalanus Parvus</i>	Mol-1	多毛类 Polychaetes
Cop-3	针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i>	Pel-2	华哲水蚤幼体 <i>Sinocalanus</i> larva	Cop-8	瘦拟哲水蚤 <i>Paraphronima gracilis</i>	Pel-1	真刺水蚤属幼体 <i>Euchaeta</i> sp. larva
Cop-4	双刺唇角水蚤 <i>Labidocera bipinnata</i>	Pel-3	桡足幼体 <i>Copepod</i> larva	Cop-9	隆线似哲水蚤 <i>Calanoides carinatus</i>	Pel-2	真哲水蚤幼虫 <i>Eucalanus</i> sp. larva
Cop-5	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	Pel-4	短尾类溞状幼体 <i>Brachyura zoea</i> larva	Cop-10	背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>	Pel-3	桡足类幼体 <i>Copepoda</i> larva
Cop-6	中华胸刺水蚤 <i>Centropages sinensis</i>	Pel-5	短尾类大眼幼体 <i>Brachyura megalopa</i> larva	Cop-11	精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	Pel-4	糠虾类幼体 <i>Mysidacea</i> larva
Cop-7	瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i>	Pel-6	长尾类溞状幼体 <i>Macrura zoea</i> larva	Cop-12	海洋真刺水蚤 <i>Euchaeta rimana</i>	Pel-5	磷虾类无节幼体 <i>Euphausia nauplius</i> larva
Cop-8	平滑真刺水蚤 <i>Euchaeta plana</i>	Pel-7	疣足幼体 <i>Netochaete</i> larva	Cop-13	吴氏真刺水蚤 <i>Euchaeta wolfendeni</i>	Pel-6	磷虾类节胸幼体 <i>Euphausia calyptopsis</i> larva
Cop-9	长腹剑水蚤 <i>Oithona</i> sp.	Pel-8	仔鱼 Fish larva	Cop-14	小唇角水蚤 <i>Labidocera minuta</i>	Pel-7	磷虾类带叉幼体 <i>Euphausia furcilia</i> larva
				Cop-15	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	Pel-8	樱虾幼体 Lucifer larva
				Cop-16	中华胸刺水蚤 <i>Centropages sinensis</i>	Pel-9	仔鱼 Fish larve
				Cop-17	瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i>	Pel-10	短尾类溞状幼体 <i>Brachyura zoea</i> larva
				Cop-18	墨氏胸刺水蚤 <i>Centropage mcmurrici</i>	Pel-11	长尾类溞状幼体 <i>Macrura zoea</i> larva
				Cop-19	克氏纺锤水蚤 <i>Acartia clausi</i>	Pel-12	磁蟹的溞状幼体 <i>Porcellana zoea</i> larva
				Cop-20	太平纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	Pel-13	口足类阿利玛幼虫 Alimalarva

此外,春秋季排序图都表明,第二主轴左侧的种类数明显高于右侧,说明适应低营养盐浓度、高DO的浮游动物种类数远高于适应高营养盐浓度、低DO的种类数。

3 讨论

3.1 优势种的季节变化与水团的关系

椒江口海区受到椒江径流、闽浙沿岸流和长江冲淡水的交替影响^[4]。春季偏南风期间,闽浙沿岸流贴岸北流,至30°N与长江冲淡水汇合^[4]。东海水螅水母类是对温盐相当敏感的浮游生物类群,冬季分布在黑潮海区,春季以后随台湾暖流漂流至东海近海,并在饵料生物量较高的混合水团内形成小

范围的高丰度区^[15]。本海区的优势种卡玛拉水母属亚热带外海种^[16]，结合其分布特点可推测，春季椒江口的优势种卡玛拉水母主要随闽浙沿岸流由南部入侵椒江口，并在饵料丰富的河口咸淡水混合区形成高值区。

秋季偏北风期间，长江冲淡水向南扩展，汇同江浙沿岸流朝南流，且外海高盐水向陆架区入侵十分明显^[14]。研究海区秋季的浮游动物优势种则主要由南下的长江冲淡水带入，如双生水母、百陶箭虫、亚强真哲水蚤和肥胖箭虫都是长江口海域秋季的优势种^[17-18]；中华胸刺水蚤是杭州湾海域秋季的优势种^[19]。也有少数优势种由外海高盐水带进，主要分布在调查海区最外断面，如微刺哲水蚤属适盐较广的热带种，有报道其为南海北部的优势种^[20]。

因此，浮游动物优势种的季节差异主要与影响水团的季节变化有关。与高倩等人在甌江口的研究结果^[21]一致。

3.2 影响浮游动物时空分布的环境因子

椒江口浮游动物的季节差异明显，除水团通过影响优势种的组成而影响群落结构的变化外，CCA分析显示，叶绿素a是影响浮游动物样品季节分化的关键因子。春季的叶绿素a浓度（3.78 $\mu\text{g/L}$ ）高于秋季（1.07 $\mu\text{g/L}$ ），对应较高的浮游植物密度，即叶绿素a通过影响浮游动物的食物而影响其群落结构，Zhou等对长江口湿地小溪中浮游动物分布的研究结果^[22]也验证了此结论。

椒江口浮游动物的空间分布主要受盐度、营养盐和DO浓度的影响。盐度通常是河口区浮游动物空间分布的主要因素^[1, 22-23]，本研究区域的营养盐和DO浓度也沿河口呈明显的梯度变化，因此三者共同影响着浮游动物的空间分布。有研究表明，营养盐影响浮游动物的种类多样性，且常呈负相关^[24]，与本研究结果一致，椒江口由径流带入大量的营养盐，近河口处形成高营养盐、低DO的水体，且该区域浑浊度高，不利于浮游植物生长，从而抑制了浮游动物，本文CCA分析显示，适应富营养、低DO环境的浮游动物种类少，且河口内的多样性指数较低。

3.3 与国内其他河口的浮游动物现状比较

将国内三大河口（黄河口、长江口、珠江口）和浙江省前三大河口（钱塘江口、椒江口、甌江口）近年来的浮游动物调查数据进行汇总，选择调查时间接近的航次结果按河口纬度由北向南统计如表5。由表5可见，椒江口浮游动物的种类数仅次于地处南亚热带的珠江口，而高于温带的黄河口和亚热带的其他河口；生物量在4~6月期间，椒江口最高，8~10月期间，椒江口低于钱塘江口外的其他河口。

河口浮游动物的群落结构受水温、盐度、径流、沿岸

流、潮汐等环境因子影响。首先，水温是影响浮游动物种类数和生物量的重要因素，它通过改变生物的生理状态和食物来源^[28-29]而影响浮游动物的代谢、繁殖及休眠卵的萌发^[30]，较高温度通常能增加浮游动物的种类数与生物量，因此，地处亚热带海区的珠江口的浮游动物种类数和平均生物量最高。其次，椒江口的浮游动物种类数多于其他亚热带河口的原因可能与它多样的动力环境条件有关，该河口受到椒江径流、长江冲淡水、浙闽沿岸水和台湾暖流高盐水等多水团的影响，且不同季节各水团的影响强度不同^[14]，因此物种丰富。此外，径流对河口浮游生物群落结构有显著影响^[31]，径流量丰富的河口通常浮游动物生物量较高^[32]，椒江口径流量年内变幅大，所以季节间浮游动物的生物量差异大，春季高于其他河口，而秋季低于其他河口。

3.4 与本河口浮游动物历史数据的比较

本课题组2006年4月曾在该河口（121.35 °E~121.85 °E与28.50 °N~28.80 °N）进行过浮游动物调查。结果显示，浮游动物生物量均值为77.80 mg/m^3 ，丰度均值为326.63 ind/ m^3 ，优势种为华哲水蚤（*Sinocalanus sinensis*）、特氏歪水蚤（*Tortanus derjugini*）、中华哲水蚤（*Calanus sinicus*）和拿卡箭虫（*Sagitta nagae*）。

将此结果与其他椒江口有关的浮游动物数据整理如表6。由表6可见，除本调查中5月份有水母大量出现而引起生物量和丰度剧增，历史调查未涉及外，椒江口春秋季节浮游动物的生物量、丰度无明显年际变化；优势类群以桡足类和毛颚类为主，也基本保持稳定。

从已有资料看，椒江口水体环境的变化还未引起浮游动物群落的明显变化，这可能与该河口的浮游动物优势类群和水动力条件有关。Ibon Uriarte等在研究河口水体污染对浮游动物的影响时发现，毛颚类不受污染和盐度梯度的影响而分布均匀^[33]；另有报道，桡足类对低氧的耐受力差^[34]，但对石油、重金属等污染物有一定的忍耐力^[35-36]。目前椒江口水体的重污染项主要是DIN、DIP、Hg、Pb、COD^[37]，DO浓度均高于4 mg/L ，所以优势类群桡足类和毛颚类未改变。同时，椒江口为强潮河口，良好的水动力条件可能对污染物的快速稀释有利，减缓了污染对水体生物的影响。

然而，5月份水母的大量出现是否与历史相同，暂无法考证，发生原因是否与水质变化有关还需进一步的研究。近年来，国内外水母爆发的报道很多，分析认为可能与海水富营养化、过度捕捞、生境退化、气候变化等多种原因有关^[38]。水母具有有性、无性2种生殖方式^[39]，且食性广泛^[40]，因此种群扩大迅速，易于从环境的改变中获益。水母类的爆发会影响

表5 近年国内河口浮游动物调查结果

Table 5 Investigation result of zooplankton of estuaries in China in recent years

调查海域 Survey area	入海河流全长 Length of river (/km)	河口平均流量 The average flow of estuary ($\text{v}/\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	调查年份 Survey year	调查月份 Survey month	浮游动物种类数 Species number of zooplankton	浮游动物的生物量 Biomass of zooplankton ($\rho/\text{mg m}^{-3}$)		参考文献 References
黄河口 Yellow river Estuary	5778	1775	2006	May, Aug.	43	340.57 (May)	179.65 (Aug.)	[25]
长江口 Yangtze Estuary	6236	30480	2006	May, Aug.	87	257.12 (May)	647.49 (Aug.)	[25]
钱塘江口 Qiantang Estuary	605	1280	2007	Apr., Aug.	65	12.38 (Apr.)	61.81 (Aug.)	[26]
椒江口 Jiajiang Estuary	197.7	110	2009	May, Otc.	106	972.66 (May)	65.30 (Oct.)	本文 This article
甌江口 Oujiang Estuary	388	457	2007	Jun., Sep	76	82.05 (Jun.)	649.10 (Sep.)	[21, 27]
珠江口 Pearl river Estuary	2214	10650	2006	May, Aug.	215	874.5 (May)	712.94 (Aug.)	[25]

表6 椒江口浮游动物的历史调查结果
Table 6 Historical investigation result of zooplankton in the Jiaojiang Estuary

调查时间 Investigation time	生物量 Biomass ($\rho/\text{mg m}^{-3}$)	丰度 Abundance ($n/\text{ind m}^{-3}$)	优势种 (及数量较高的种类) Dominant species (and species with higher quantity)	参考文献 References	
春季 Spring	1982年5月 May 1982	59.3	55.5	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> (拿卡箭虫 <i>Sagitta nage</i> , 近缘大眼剑水蚤 <i>Corycaeus affinis</i> , 针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i>)	[12]
	1990年4月 Apr. 1990	253.8	704.8	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> (短尾类溞状幼体 <i>Brachyura zoea</i> larva, 拿卡箭虫 <i>Sagitta nage</i> , 真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i> , 平滑真刺水蚤 <i>Euchaeta plana</i> , 五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i>)	[12]
	2006年4月 Apr. 2006	77.8	326.63	华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i> , 特氏歪水蚤 <i>Tortanus derjugini</i> , 中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> 和拿卡箭虫 <i>Sagitta nage</i>	本文 This article
	2009年5月 May 2009	972.7	1743.5	卡玛拉水母 <i>Malagazzia carolinae</i> (近亲裸腹溞 <i>Moina affinis</i> , 球形侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i> , 短尾类溞状幼体 <i>Brachyura zoea</i> larva, 中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> , 太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>)	本文 This article
秋季 Autumn	1981年10月 Oct. 1981	115.1	269.8	针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i> (肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i> , 中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> , 拿卡箭虫 <i>Sagitta nage</i> , 锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i> , 太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i> , 长尾类幼体 <i>Macrura</i> larva)	[12]
	2009年10月 Oct. 2009	65.3	31.9	百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i> , 双生水母 <i>Amphinema dinema</i> , 肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i> , 亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i> , 微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i> , 中华胸刺水蚤 <i>Centropages sinensis</i>	本文 This article

人类和正常的海洋生态系统^[41], 如导致黑潮生态系统退化^[42]等, 形成恶性循环。本文研究的水母类属于小型水母, 其相关的生态效应研究尚较少, 但小型水母大量出现对水质和渔业也有不利影响, 如通过大量摄食浮游动物而间接促进藻类的爆发, 因摄食鱼卵、幼鱼而破坏渔业资源等^[43-44], 应引起关注。

References

1 Irena VT, Vladislav VK. Principal processes within the Estuarine salinity gradient: A review. *Mar Pollut Bull*, 2010, **61** (2-4): 149-155

2 Jiang JH (江锦花), Zhu LZ (朱利中), Zhang M (张明). Concentration and sources of typical organic contaminants in seawater, sediment and organisms in Jiaojiang Bay. *Environ Chem* (环境化学), 2006, **25** (5): 546-549

3 Fang J (方杰). Persistent organic pollutants and heavy metals in surface sediments and marine organisms from coastal areas: [Doctor Degree Dissertation]. Hangzhou, China: Zhejiang University (杭州: 浙江大学), 2007. 190-193.

4 Jiang JH (江锦花), Jiang ZL (江正玲), Chen XF (陈希方), Hu YY (胡昱阳), Cheng YX (程岩雄). Distribution of heavy metals and enrichment of it in sediment and organisms in Jiaojiang Estuary. *Mar Environ Sci* (海洋环境科学), 2007, **26** (1): 58-62

5 Zhao YQ (赵永强), Chen QZ (陈全震), Zeng JN (曾江宁), Shou L (寿鹿), Gao AG (高爱根), Liao YB (廖一波). Distribution characteristics of intertidal zone macrozoobenthos in autumn and winter in chemical industrial park and adjacent area, Jiaojiang Estuary. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2009, **29** (3): 1578-1586

6 Jin BM, Jiang JH. Concentrations, accumulation and sources of PAHs in surface layer sediments of Taizhou Bay. *Mar Sci Bull*, 2008, **10** (1): 38-45

7 Peter HW, Sigrid B S, Shuhei N. Introduction to species diversity of marine zooplankton. *Deep Sea Res II*, 2010, **57** (24-26): 2061-2063

8 Commission compiling Chinese bay (中国海湾志编纂委员会). Chinese Bay (Sixth fascicle). Beijing, China: Ocean Press (北京: 海洋出版社), 1993. 15-60

9 State Technology Supervision Bureau (国家技术监督局). GB 12763.6-2007 The Specification for Marine Monitoring Part 6: Marine Biological Survey. Beijing, China: Standards Press of China (北京: 中国标准出版社), 2007

10 State Technology Supervision Bureau (国家技术监督局). GB 17378.4-2007 The Specification for Marine Monitoring Part 4: Seawater Analysis. Beijing, China: Standards Press of China (北京: 中国标准出版社), 2007

11 Shannon CE, Wiener W. The mathematical theory of communication. Urbana, USA: University of Illinois Press, 1949

12 Xu R (徐韧), Li YH (李亿红), Li ZE (李志恩), Wang JH (王金辉). Quantitative comparison of zooplankton in different habitats of the Changjiang Estuary. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2009, **29** (4): 1688-1696

13 State Environmental Protection Administration (国家环境保护总局). GB3097-1997 Sea Water Quality Standard, 2007

14 Guo BH (郭炳火), Huang ZZ (黄振宗), Li PY (李培英), Ji WD (暨卫东), Liu GY (刘广远), Xu JP (徐建平). Marine Environment of China's Coastal and Adjacent Waters. Beijing, China: Ocean Press (北京: 海洋出版社), 2004. 58-90

15 Xu ZL (徐兆礼), Zhang JB (张金标), Wang YL (王云龙). Ecological study on Hydromedusae in the East China Sea. *J Fish China* (水产学报), 2003, **27** (B09): 91-97

16 Xu ZL (徐兆礼). Water environment adaptability and ecological groups of Hydromedusae in East China Sea. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2009, **20** (1): 177-184

17 Zhang FY (章飞燕), Tang JL (唐静亮), Li DJ (李道季), Fang T (方涛), Wang B (王彪). Zooplankton distribution and variation in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in summer and autumn. *Acta Hydrobiol Sin* (水生生物学报), 2009, **33** (6): 1219-1225

18 Ji HH (纪焕红), Ye SF (叶属峰). Ecological distribution characteristics of zooplankton and its relationship with environmental factors in the Changjiang River Estuary. *Mar Sci* (海洋科学), 2006, **30** (6): 23-30

19 Xu ZL (徐兆礼), Shen XQ (沈新强), Yuan Q (袁骥), Chen YQ (陈亚骥). Distribution characteristics of zooplankton in waters around Yangshan Islands in Hangzhou Bay. *J Fish China* (水产学报), 2003, **27** (Supp): 69-75

20 Li CH (李纯厚), Jia XP (贾晓平), Cai WG (蔡文贵). Diversity of

- marine zooplankton in the north of South China Sea. *J Fish Sci China* (中国水产科学), 2004, **11** (2): 139~146
- 21 Gao Q (高倩), Xu ZL (徐兆礼). Distribution pattern of zooplankton in the Oujiang Estuary during summer and autumn. *J Fish Sci China* (中国水产科学), 2009, **16** (3): 372~380
 - 22 Zhou SC, Jin BS, Guo L, Qin HM, Chu TJ, Wu JH. Spatial distribution of zooplankton in the intertidal marsh creeks of the Yangtze River Estuary, China. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2009, **85** (3): 399~406
 - 23 Modéran J, Bouvais P, David V, Le Noc S, Simon-Bouhet B, Niquil N, Miramand P, Fichet D. Zooplankton community structure in a highly turbid environment (Charente estuary, France): Spatio-temporal patterns and environmental control. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2010, **88** (2): 219~232
 - 24 Badosa A, Boix D, Brucet S, López-Flores R, Gascón S, Quintana XD. Zooplankton taxonomic and size diversity in Mediterranean Coastal Lagoons (NE Iberian Peninsula): Influence of hydrology, nutrient composition, food resource availability and Predation. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2007, **71** (1~2): 335~346
 - 25 Zhang DJ (张达娟), Yan QL (闫启仑), Wang ZL (王真良). Variation in species number and biomass of zooplankton in typical estuaries of China. *Oceanol Limnol Sin* (海洋与湖沼), 2008, **39** (5): 536~540
 - 26 Wang XB (王晓波), Wei YJ (魏永杰), Qin ML (秦铭俐), Yang YL (杨元利), Ren M (任敏). Studies on variation trend of diversity of zooplankton in ecology monitoring area of Hangzhou Bay. *Mar Environ Sci* (海洋环境科学), 2008, **27** (A01): 67~71
 - 27 Gao Q (高倩), Xu ZL (徐兆礼). Species composition and diversity of zooplankton in Oujiang River Estuary in summer and autumn. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 2009, **28** (10): 2048~2055
 - 28 Fmnneman PW. Seasonal changes in zooplankton biomass and grazing impact in the Temperate Estuary, South Africa. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2001, **52** (5): 543~553
 - 29 Perissinotto R, Walker DR, Webb P, Wooldridge TH, Bally R. Relationships between zoo- and phytoplankton in a warm-temperate, semi-permanently closed Estuary, South Africa. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2000, **51** (1): 1~11
 - 30 Gaughan DJ, Potter IC. Composition, distribution and seasonal Abundance of zooplankton in a shallow, seasonally closed Estuary in Temperate Australia. *Estuar Coast Shelf Sci*, 1995, **41** (2): 117~135
 - 31 Fmnneman PW. Response of the plankton to three different hydrological phases of the temporarily open/closed Kasouga Estuary, South Africa. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2002, **55** (4): 535~546
 - 32 Wooldridge T. Estuarine Zooplankton Community Structure and Dynamics. In: Allanson BR, Baird D. Estuaries of South Africa. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1999. 141~166
 - 33 Ibon U, Fernando V. Effects of pollution on zooplankton abundance and distribution in two estuaries of the Basque Coast (Bay of Biscay). *Mar Pollut Bull*, 2004, **49** (3): 220~228
 - 34 Roman MR, Gauzens AL, Rhinenart WK, White JR. Effects of low oxygen waters on Chesapeake Bay zooplankton. *Limnol Oceanogr*, 1993, **38** (8), 1603~1614
 - 35 Patin SA. Pollution and the Biological Resources of the Ocean. London, UK: Butterworth Scientific, 1982. 203~208
 - 36 Zeng YY (曾艳艺), Huang XP (黄小平). The effects of heavy metals on marine copepods: A review. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2010, **30** (4): 1042~1049
 - 37 Wang YM (王益鸣), Zhang FY (张凤英), Xu ZP (许贞平), Sun Y (孙毅), Tang JL (唐静亮), Liu SX (刘世贤), Ren SJ (任世军). Assessment on situation of ecological environment quality in Jiaojiang Estuary. *J Zhejiang Ocean Univ Nat Sci* (浙江海洋学院学报自然科学版), 2005, **24** (3): 221~226
 - 38 Dong ZJ, Liu DY, Keesing JK. Jellyfish blooms in China: dominant species, causes and consequences. *Mar Pollut Bull*, 2010, **60** (7): 954~963
 - 39 Brodeur RD, Sugisaki H, Hunt GL. Increases in Jellyfish biomass in the Bering Sea: Implications for the ecosystem. *Mar Ecol Prog Ser*, 2002, **233**: 89~103
 - 40 Harbison GR, Madin LP, Swanberg NR. On the natural history and distribution of oceanic ctenophores. *Deep Sea Res*, 1978, **25**: 233~236
 - 41 Zhang F (张芳), Sun S (孙松), Li CL (李超伦). Progress of marine medusa ecology. *Prog Nat Sci* (自然科学进展), 2009, **19** (2): 121~130
 - 42 Kideys AE. Fall and rise of the Black Sea ecosystem. *Science*, 2002, **297** (5586): 1482~1484
 - 43 Purcell JE, Decker MB. Effects of climate on relative predation by scyphomedusae and ctenophores on copepods in Chesapeake Bay during 1987~2000. *Limnol Oceanogr*, 2005, **50** (1): 376~387
 - 44 Lun FX (伦凤霞), Wang YL (王云龙), Shen XQ (沈新强), Xu HL (徐后连). Distribution characteristics of medusa in Yangtze River Estuary and its adjacent waters in summer. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 2008, **27** (9): 1510~1515