

# 崇明东滩潮沟浮游动物数量分布与变动\*

李 强 安传光 徐霖林 马长安 赵云龙

(华东师范大学生命科学学院 上海 200062)

**提要** 根据 2008 年 4—12 月对上海市崇明岛东滩潮沟进行 4 个季节的浮游动物调查资料, 研究了崇明东滩潮沟浮游动物的数量分布及变动。结果表明, 调查区浮游动物总丰度较高, 四季变化明显。受潮汐作用的影响, 夏、秋、冬三季落潮时丰度大于涨潮时, 春季涨潮时丰度则大于落潮时。浮游动物在 6 条潮沟的平面分布不均匀, 春季东旺沙边滩区和北八滧边滩区的数量明显多于近团结沙边滩区, 夏、秋季分别以东旺沙边滩区和北八滧边滩区的数量最多, 冬季则以近团结沙边滩区的数量最多。主要优势种细巧华哲水蚤(*Sinocalanus tenellus*)、中华华哲水蚤(*Sinocalanus sinensis*)、火腿许水蚤(*Schmackeria poplesia*)、四刺窄腹剑水蚤(*Limnoithona etraspina*)和四刺破足猛水蚤(*Mesochra quadrispinosa*)等数量的季节、潮汐变化及各时期的空间分布格局差异明显, 其数量分布情况决定了浮游动物总数量的分布。盐度是影响冬、春季涨潮时浮游动物总丰度分布的主要因子, 水温则是影响夏、秋季涨潮时总丰度分布的主要因子。此外, 径流及潮流等动力因素对潮沟浮游动物数量的时空分布也产生重要影响。

**关键词** 浮游动物, 数量分布, 温度, 盐度, 潮沟

**中图分类号** Q958.8

潮沟是淤泥质河口滩涂重要的一级地貌单元。许多潮沟和邻近的潮滩被认为是鱼类的初级育苗场所(Hoss *et al.*, 1993; Ross, 2003), 为众多的鱼类和甲壳动物等提供食物和栖息场所。潮沟区域广泛分布着多种水生动物、陆生动物和鸟类等生物资源, 其特殊的环境能维持它们间复杂的食物网(Kwak *et al.*, 1997; Posey *et al.*, 2002)。崇明东滩位于崇明岛的东部、长江口门处, 其滩涂部分由团结沙外滩、东旺沙外滩和北八滧外滩三大部分组成, 在海堤外呈舌形扩布(徐宏发等, 2005; 马云安等, 2006)。潮沟是崇明东滩的重要地貌形态, 在东滩分布有 20 多条潮沟系(谢东风等, 2006), 是连接东滩邻近水域生态系统和东滩湿地生态系统的纽带, 是整个长江河口生态系统的重要组成部分。潮沟区域内盐度、温度、水深和营养水平等环境因子梯度变化较大, 对生物分布产生直接影响(Likens *et al.*, 1974; Naiman *et al.*, 1990)。目前, 国内外对潮沟内生物资源的研究, 主要集中在底栖动物、游

泳动物及以微生物或叶绿素等作为指标探究人类活动对潮沟水域环境的影响等方面(Desmond *et al.*, 2000; 何斌源, 2002; Mill *et al.*, 2006; Matthew *et al.*, 2007), 对潮沟内浮游动物的研究报道极少。

浮游动物作为海洋中主要的次级生产者, 其动态变化对整个生态系统的结构功能、渔业资源及环境产生重要的调控作用(郑重等, 1984; Barss *et al.*, 1984), 且能直接反映生态系统的健康状况。长江口一直是浮游动物研究的热点, 而目前相关的大量研究工作均涉及长江口敞水区的浮游动物(徐兆礼等, 1995a, b; 徐兆礼, 2005), 潮沟内浮游动物的相关资料尚属空白。本文对崇明东滩潮沟浮游动物数量分布、变动及其影响因素等进行探讨, 以进一步提高对崇明东滩湿地生态系统结构与功能的认识, 为维持东滩湿地生物多样性提供基础资料和理论依据, 为研究东滩潮沟生物资源提供重要参数, 所得结果还将有助于全面了解长江河口水域浮游动物的分布特点。

\* 上海市科学技术委员会重大项目, 07DZ12038 号、08231200702 号、08DZ1203102 号。李 强, E-mail: sdlq1978@gmail.com

通讯作者: 赵云龙, 教授, E-mail: ylzhaol@bio.ecnu.edu.cn

收稿日期: 2009-03-17, 收修改稿日期: 2009-05-26

## 1 材料与方法

### 1.1 采样区域、时间与方法

2008 年 4 月(春季)、7 月(夏季)、10 月(秋季)和 12 月(冬季)根据崇明东滩潮沟分布及发育特点(徐宏发等, 2005), 选取 6 个二级潮沟系, 分为近团结沙边滩区(S1、S2)、东旺沙边滩区(S3、S4 及 S5)和北八滙边滩区(S6), 在每个潮沟系的主潮沟按滩涂的高、中、低潮带设置 3 个站位, 共 18 个站位(图 1), 分涨、落潮进行浮游动物生态调查。浮游动物样品采集用有机玻璃采水器(规格为 5L)取上、中、下层水样各 20L, 混合浓缩至 500ml 作为定量样品, 自潮沟底至水面做“ ”字形拖动获得定性样品。浮游动物采集方法及标本处理等均按《海洋监测规范》(国家质量技术监督局, 1998)进行, 经 5%福尔马林溶液固定后实验室分类、鉴定、计数和统计。

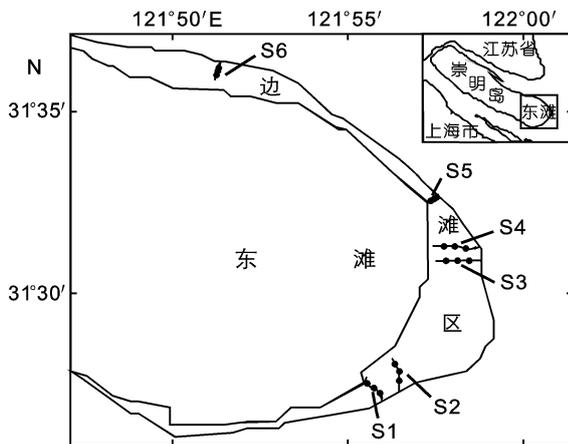


图 1 崇明岛东滩潮沟采样站位图

Fig.1 Sampling stations in the tidal creeks of Chongming Dongtan

根据潮沟的实际情况, 涨潮时潮沟水体较深, 同步采用浅水型浮游生物网自潮沟底至水面垂直拖曳获得一份定量样品, 与用采水器所得定量结果进行比对, 其在统计学意义上没有差异, 因此, 本文实验数据均由有机玻璃采水器采集处理所得。

### 1.2 数据处理

优势种优势度计算公式(徐兆礼等, 1995b)。

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

式中,  $Y$  表示物种优势度;  $n_i$  为第  $i$  种的个体数,  $f_i$  为该种出现的频度, 当某一物种  $Y > 0.02$  时, 可视为优势种类。

计算各优势种对总丰度变化的影响, 先以总丰度为因变量, 各优势种为自变量, 根据  $t$  值筛选出对

总丰度回归方差贡献显著的优势种, 然后计算标准回归系数( )。标准回归系数没有量纲, 据此可以衡量各优势种对总丰度回归贡献。标准回归系数作为总丰度贡献指数值用于衡量各优势种对总丰度变化的影响程度。分析环境因子变化对总丰度变化的影响。用同步观测到的资料, 取表层水温( $t$ )和表层盐度( $S$ )2 个因子作自变量, 总丰度为因变量, 采用逐步回归分析方法挑选对总丰度影响显著的环境因子(徐兆礼等, 2007)。

相关数据处理利用 SPSS16.0 统计软件包进行。

## 2 结果

### 2.1 浮游动物数量分布及变化

**2.1.1 总丰度的季节变化** 崇明东滩潮沟浮游动物总丰度的季节变化十分明显(图 2)。不论涨潮还是落潮, 四季浮游动物总丰度的变化趋势为春季>秋季>夏季>冬季。春季, 涨潮和落潮时丰度均明显高于夏秋冬三季, 涨潮时达到  $72.54 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ , 落潮时为  $45.68 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。秋季落潮时丰度也较高, 达  $31.53 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ , 秋季涨潮时和夏季涨、落潮时的丰度相差不大, 在  $12.00 \times 10^3$ — $19.00 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  之间变动。冬季丰度最小, 涨潮时仅有  $5.00 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ , 落潮时为  $5.68 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。受潮汐作用的影响, 潮沟浮游动物的丰度表现为春季涨潮时大于落潮时、夏秋冬三季落潮时大于涨潮时的特征(图 2)。

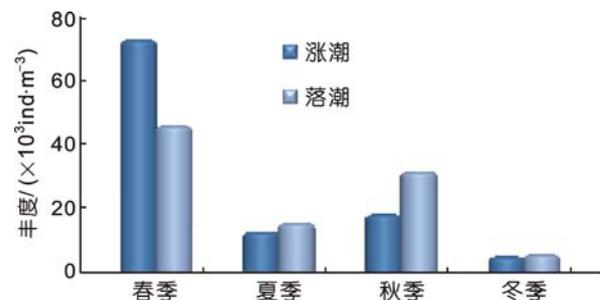


图 2 崇明东滩潮沟浮游动物丰度( $\times 10^3 \text{ ind/m}^3$ )季节变化  
Fig.2 The seasonal variation in zooplankton abundance ( $\times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ) in the tidal creeks

**2.1.2 平面分布** 浮游动物在崇明东滩 6 条潮沟中的数量分布不均匀(图 3)。春季, 在东旺沙边滩区潮沟 S3、S4 及 S5 和北八滙边滩区的 S6 形成两个高丰度区, 涨、落潮时丰度均大于  $30.00 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ , 其中 S4 最高, 涨潮时达  $226.13 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ , 落潮时也有  $99.41 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ; 近团结沙边滩区的 S1、S2 丰度

最低, 在  $1.00 \times 10^3$ — $7.00 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 之间变动。春季优势种以细巧华哲水蚤(*Sinocalanus tenellus*)、三角大吉猛水蚤(*Tachidius triangularis*)和四刺破足猛水蚤(*Mesochra quadrispinosa*)等为主。在 6 条潮沟内浮游动物数量的不均衡性与主要优势种的空间分布有密切关系(表 1), 如涨潮时细巧华哲水蚤在 S4 与 S5 的丰度达  $100.00 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 以上, 而 S1 仅有  $0.51 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>。

夏季, 在北八漊边滩区潮沟 S6 丰度最高, 涨潮和落潮时为  $30.79 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 和  $35.31 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>, 涨潮和落潮时丰度最低的分别是 S3( $7.28 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>)和 S2( $6.33 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>)。构成北八漊边滩区高丰度的主要种类为中华华哲水蚤(*Sinocalanus sinensis*)和火腿许水蚤(*Schmackeria poplesia*)等优势种(表 1)。

秋季, 东旺沙边滩区丰度较高, 涨潮和落潮时最高的分别是 S5( $38.15 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>)和 S3( $79.96 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>), 其次是近团结沙边滩区的 S1 和北八漊边滩区的 S6, 变动幅度在  $6.50 \times 10^3$ — $15.00 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 之间。秋季浮游动物丰度平面分布主要取决于优势种中华华哲水蚤与火腿许水蚤的丰度(表 1)。

冬季, 近团结沙边滩区的潮沟 S1、S2 丰度最高, 在  $12.00 \times 10^3$ — $22.00 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 之间波动; 涨、落潮时丰度最低的分别是位于东旺沙边滩区的 S3 和北八漊边滩区的 S6, 仅有  $1.88 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 和  $1.31 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>。由表 1 可见, 构成近团结沙边滩区高丰度的

主要种类是四刺窄腹剑水蚤(*Limnoithona etraspina*), 幅度在  $4.65 \times 10^3$ — $14.29 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 之间。

2.2 主要优势种数量的时空分布

从整个调查水域来看, 4 季共有 9 种优势种类(优势度 0.02), 在 2 个季度以上(包括 2 个季度)均为优势种的有 7 种, 分别是中华华哲水蚤、细巧华哲水蚤、火腿许水蚤、中华咸水剑水蚤(*Halicyclops sinensis*)、四刺窄腹剑水蚤、三角大吉猛水蚤和四刺破足猛水蚤。优势种数量的时空分布差异明显(图 4, 表 1)。

2.2.1 中华华哲水蚤 该种属于河口半咸水种类, 是东滩潮沟 4 季涨、落潮时的优势种。该种数量分布随季节变化和潮汐变化而异: 4 季涨、落潮时平均数量变动趋势为秋季>春季>夏季>冬季, 冬春季涨潮时平均数量高于落潮时, 而夏秋季涨潮时低于落潮时。春季, 涨潮时在北八漊边滩区 S6 形成高密度区, 数量达  $10.05 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>, 落潮时在东旺沙边滩区形成高密度区, 丰度最高的是潮沟 S5, 数量达  $14.32 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>。夏季, 其分布特征与春季涨潮时相似, 涨、落潮时均在北八漊边滩区形成高密度区, 数量在  $10.00 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 以上。秋季, 其分布特征与春季落潮时相似, 涨、落潮时均在东旺沙边滩区形成高密度区, 涨、落潮时数量最大值均在潮沟 S3, 分别为  $68.68 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 和  $13.95 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>。冬季, 涨、落潮时均在近团结沙边滩区的 2 个潮沟 S1 和 S2 形成密集区, 数量在  $2.58 \times 10^3$ — $5.02 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 之间, 其余潮沟

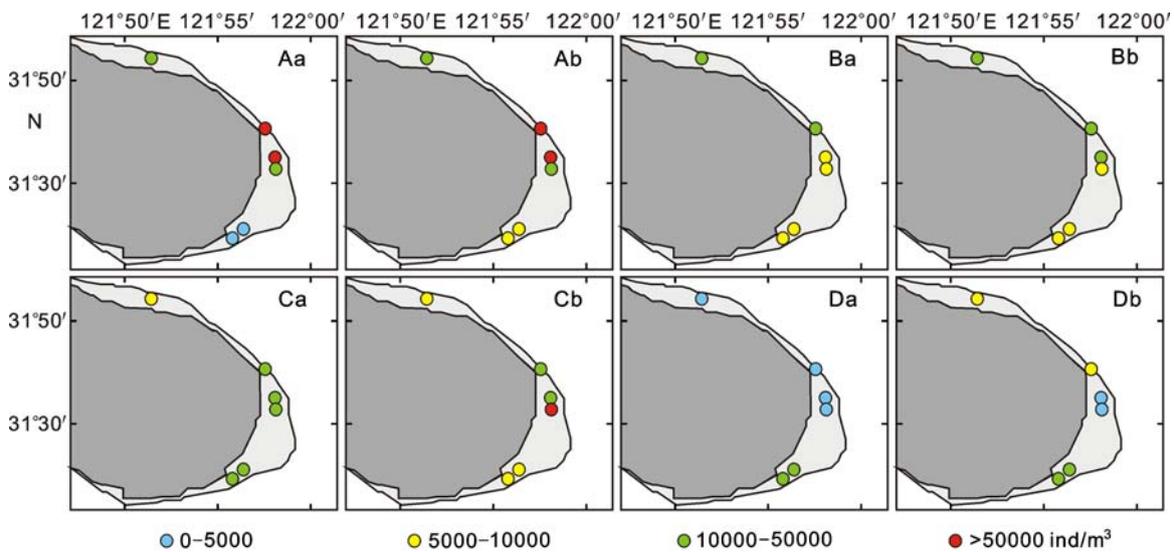


图 3 崇明东滩潮沟浮游动物丰度平面分布

Fig.3 Horizontal distribution of zooplankton abundance in the tidal creeks  
A: 春季; B: 夏季; C: 秋季; D: 冬季; a: 涨潮; b: 落潮

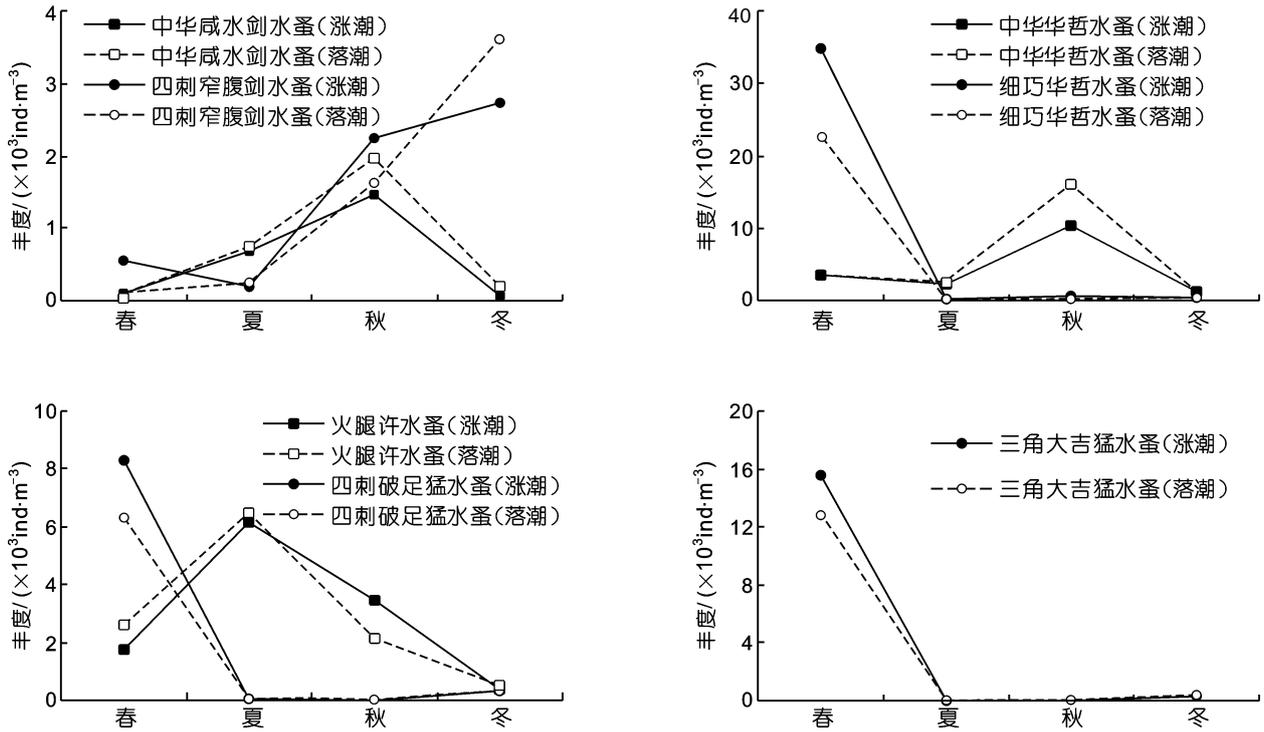


图 4 崇明东滩潮沟浮游动物主要优势种丰度( $\times 10^3 \text{ ind/m}^3$ )的季节变化

Fig.4 The seasonal variation in zooplankton abundance ( $\times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ) of main dominant species in the tidal creeks

表 1 崇明东滩潮沟浮游动物主要优势种丰度( $\times 10^3 \text{ ind/m}^3$ )的平面分布

Tab.1 Spatial and temporal variations in abundance ( $\times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ) of main dominant species in the tidal creeks

季节	优势种	S1		S2		S3		S4		S5		S6	
		涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮
春季	中华华哲水蚤	0.03	0.05	0.04	0.12	3.15	0.20	4.17	3.99	4.31	14.32	10.05	0.01
	细巧华哲水蚤	0.51	1.34	1.42	2.67	9.91	1.50	146.43	45.03	106.88	1.63	22.45	1.27
	火腿许水蚤	0.01	0.35	0.01	0.26	0.10	0.10	2.42	0.69	2.52	0.63	0.11	19.20
	三角大吉猛水蚤	0.06	0.18	0.06	0.26	10.82	35.75	0.50	10.40	1.55	10.42	97.77	1.32
	四刺破足猛水蚤	0.23	0.15	0.19	0.18	1.55	0.29	54.47	19.55	0.88	2.61	4.76	2.10
夏季	中华华哲水蚤	0.18	0.28	0.33	0.42	0.82	1.33	0.87	1.88	0.34	0.43	10.07	11.03
	火腿许水蚤	6.94	4.45	5.27	3.68	1.94	2.21	2.43	5.52	4.97	8.84	13.34	16.51
	中华咸水剑水蚤	0.21	0.09	0.32	0.21	0.83	0.82	1.65	2.55	0.29	0.29	0.35	0.91
秋季	中华华哲水蚤	0.18	0.05	0.23	0.09	13.95	68.68	9.33	34.89	2.96	28.16	0.12	1.17
	火腿许水蚤	0.45	0.15	0.50	0.13	1.13	0.55	1.45	0.55	23.53	1.26	2.04	1.58
	中华咸水剑水蚤	0.63	0.58	0.55	0.63	1.71	6.00	0.58	2.51	1.07	4.47	0.86	1.02
	四刺窄腹剑水蚤	7.30	1.46	5.45	1.53	0.94	0.24	0.10	0.29	3.25	1.83	0.17	0.28
冬季	中华华哲水蚤	2.85	2.58	5.02	2.22	0.28	0.02	0.23	0.17	0.43	0.01	0.55	0.05
	细巧华哲水蚤	1.33	1.08	1.16	0.89	0.13	0.03	0.09	0.08	0.12	0.02	0.13	0.02
	火腿许水蚤	0.65	1.61	0.57	1.18	0.13	0.11	0.15	0.06	0.14	0.68	0.13	0.03
	中华咸水剑水蚤	0.02	0.05	0.03	0.05	0.08	0.52	0.13	0.52	0.07	0.27	0.03	0.23
	四刺窄腹剑水蚤	5.21	14.29	4.65	12.78	0.04	0.08	0.04	0.10	0.83	0.03	0.13	0.01
	三角大吉猛水蚤	0	0.07	0	0.05	0.12	0.22	0.69	0.91	0.47	0.85	0.18	0.69
	四刺破足猛水蚤	0.03	0.04	0.02	0.03	0.43	0.31	1.03	0.53	0.23	0.45	0.03	0.93

数量均不足  $0.60 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。中华华哲水蚤是崇明东滩潮沟浮游动物群落中的重要物种,其季节变化明显,适温、适盐范围较宽。

**2.2.2 火腿许水蚤** 该种为河口半咸水种类,是东滩潮沟 4 季落潮时与夏秋冬季涨潮时的优势种。4 季涨潮时平均数量变动趋势为夏季>秋季>春季>冬季,落潮时趋势为夏季>春季>秋季>冬季;春夏冬季落潮时的平均数量均大于涨潮时,秋季则相反。春季,涨潮时在东旺沙边滩区的 S4 和 S5 潮沟数量分布较高,约为  $2.5 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ,其余潮沟数量较少,均在  $0.11 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  以下,不为该时期的优势种;落潮时,高密度区在北八漊边滩区的 S6,数量达  $19.20 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。夏季,涨、落潮时均以 S6 的数量最大,达  $10.00 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  以上,为夏季第一优势种。秋季,其数量和分布特征与春季相似,涨潮时在潮沟 S5 形成高密度区,数量为  $23.53 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ,落潮时最大值在潮沟 S6,数量为  $1.58 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。冬季,其平均数量较少,涨、落潮时分别为  $0.40 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  和  $0.50 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ,在近团结沙边滩区形成密集区,但最大数量明显下降,涨、落潮时仅为  $0.65 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  和  $1.18 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。可见,火腿许水蚤适盐范围宽,在较高温度时生长良好。

**2.2.3 中华咸水剑水蚤** 该种生活于沿海地区的低盐咸淡水及淡水中,是东滩潮沟夏秋季涨、落潮时及冬季落潮时的优势种。春季,涨、落潮时的平均数量较少,分别为  $0.10 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  和  $0.03 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ,不形成高密度区,也不是该时期的优势种。夏季,其平均数量较春季有所上升,涨、落潮时分别为  $0.68 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  和  $0.74 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ,最大值均在潮沟 S4 为  $1.65 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  和  $2.55 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。秋季,该种的平均数量为 4 季最多,涨、落潮时均在东旺沙边滩区形成高密度区,涨、落潮时数量最大值均在潮沟 S3,数量分别为  $1.71 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  和  $6.00 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。冬季,其平均数量达 4 季最小值,涨潮时仅有  $0.06 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ,不是该时期的优势种;落潮时平均数量为  $0.20 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ,在东旺沙边滩区的 S3 和 S4 形成密集区,数量均为  $0.52 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。另外,该种数量分布随潮汐变化而异,夏秋冬季落潮时的平均数量均大于涨潮时,春季则相反。可见,中华咸水剑水蚤季节变化明显,丰水期数量较多,更适宜在较高温时生长。

**2.2.4 其它优势种** 细巧华哲水蚤、三角大吉猛水蚤和四刺破足猛水蚤均为东滩潮沟春、冬季涨、落潮时的优势种。细巧华哲水蚤多生活于沿岸河口半咸水

中,是东滩潮沟春季的第一优势种,涨、落潮时平均数量分别高达  $34.90 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  和  $22.60 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ;涨潮时在东旺沙边滩区的潮沟 S4 和 S5 形成极高密度区( $100.00 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  以上),落潮时在东旺沙边滩区的 S4 形成高密度区( $45.03 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ )。其余季节细巧华哲水蚤平均数量均低于  $0.55 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ,但作为冬季优势种,该种在近团结沙边滩区形成高密度区。三角大吉猛水蚤是东滩潮沟春季的重要优势种,涨、落潮时平均数量分别为  $15.55 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  和  $12.79 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ;涨潮时在北八漊边滩区 S6 形成高密度区( $97.77 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ),落潮时在东旺沙边滩区形成高密度区,平均数量在  $3.58 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  以上。冬季,三角大吉猛水蚤在东旺沙边滩区及北八漊边滩区数量分布较多。四刺破足猛水蚤春季的数量分布与细巧华哲水蚤相似,在东旺沙边滩区的潮沟 S4 和 S5 形成极高密度区,冬季的数量分布则与三角大吉猛水蚤相似。以上表明这 3 种浮游动物数量季节变化较大,其适盐、适温范围较窄。

四刺窄腹剑水蚤是东滩潮沟秋、冬季涨、落潮时的优势种,是冬季第一优势种,冬季涨、落潮时的平均数量分别为  $2.73 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  和  $3.59 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ,在近团结沙边滩区形成高密度区;秋季涨、落潮时的平均数量为  $2.23 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  和  $1.62 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ ,和冬季相似,在近团结沙边滩区形成高密度区。可见,四刺窄腹剑水蚤适盐范围窄,而适温范围较宽,更适于在低温生活。

### 2.3 优势种对总丰度的贡献

根据优势度和回归贡献分析(表 2),在春季涨潮时细巧华哲水蚤对总丰度的贡献( )最大,其值为 0.77,其次是中华华哲水蚤和四刺破足猛水蚤,分别为 0.59 和 0.51;落潮时,中华华哲水蚤、四刺破足猛水蚤和细巧华哲水蚤对总丰度的贡献较大,其值分别为 0.71、0.67 和 0.65,三角大吉猛水蚤和火腿许水蚤尽管在落潮时是优势种,但对总丰度贡献不显著。夏季,涨、落潮时均以中华华哲水蚤和火腿许水蚤对总丰度的贡献较大,涨潮时分别为 0.97 和 0.83,落潮时为 0.88 和 0.94,涨潮时湖泊美丽猛水蚤对总丰度的贡献也较大,为 0.75;宽足咸水剑水蚤在落潮时、中华咸水剑水蚤在涨、落潮时均为优势种,但它们对总丰度贡献不显著。秋季,涨潮时对总丰度的贡献较大的是火腿许水蚤和中华华哲水蚤,分别为 0.68 和 0.58,中华咸水剑水蚤和四刺窄腹剑水蚤虽为优势种,但对总丰度贡献不显著;落潮时,中华华哲水蚤对总丰

度的贡献较大, 为 0.99, 其它优势种对总丰度贡献均不显著。冬季, 涨潮时中华华哲水蚤、四刺窄腹剑水蚤、火腿许水蚤及细巧华哲水蚤对总丰度贡献极其显著, 回归贡献 值在 0.91—0.95 之间, 优势种三角大吉猛水蚤与四刺破足猛水蚤对总丰度贡献不显著; 落潮时, 四刺窄腹剑水蚤、中华华哲水蚤及细巧华哲水蚤对总丰度贡献极其显著, 值在 0.93—0.98 之间, 火腿许水蚤对总丰度贡献也较大, 为 0.56。

#### 2.4 温度与盐度对浮游动物总丰度的影响

温度、盐度与浮游动物总丰度的关系见表 3。通过逐步回归分析表明, 影响冬、春季涨潮时浮游动物总丰度分布的主要因子是盐度, 水温则是影响夏、秋季涨潮时总丰度分布的主要因子。夏、冬季落潮时总丰度的分布与盐度和水温的二元线性相关关系显著,

其中夏季落潮时总丰度与水温呈负相关, 而与盐度的关系为正相关, 冬季则相反。春、秋季落潮时总丰度与温度和盐度相关性不显著( $P>0.05$ ), 所以没有相应的回归方程。

### 3 讨论

#### 3.1 东滩潮沟浮游动物数量分布及变动特征

东滩潮沟浮游动物 4 个季节的丰度均达到较高水平, 春、夏、秋三季的总丰度均在  $10.00 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  以上, 而冬季的总丰度也在  $4.50 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$  以上, 明显高于长江河口敞水区的调查结果(高倩, 2008<sup>1</sup>)。浮游动物在潮沟水域有较高的数量分布, 原因有以下几方面: 一方面潮滩为潮沟水域提供大量的有机碎屑、动物尸体等, 为浮游动物提供了重要的食

表 2 优势种对浮游动物总丰度的贡献  
Tab.2 Contribution to total abundance from dominant species of zooplankton

优势种	潮汐	春季				夏季			
		<i>Y</i>	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>Y</i>	<i>t</i>	<i>P</i>		
中华华哲水蚤	涨潮	0.032	0.59	2.92	0.010	0.184	0.97	15.44	0.000
	落潮	0.021	0.71	3.98	0.001	0.177	0.88	7.31	0.000
细巧华哲水蚤	涨潮	0.538	0.77	4.91	0.000	—	—	—	—
	落潮	0.243	0.65	3.44	0.003	—	—	—	—
火腿许水蚤	涨潮	—	—	—	—	0.454	0.83	5.89	0.000
	落潮	0.056	- 0.39	- 0.25	0.807	0.455	0.94	11.17	0.000
三角大吉猛水蚤	涨潮	0.184	0.29	1.20	0.248	—	—	—	—
	落潮	0.218	0.42	1.83	0.086	—	—	—	—
湖泊美丽猛水蚤	涨潮	—	—	—	—	0.029	0.75	4.57	0.000
	落潮	—	—	—	—	—	—	—	—
四刺破足猛水蚤	涨潮	0.122	0.51	2.36	0.031	—	—	—	—
	落潮	0.081	0.67	3.56	0.003	—	—	—	—
优势种	潮汐	秋季				冬季			
		<i>Y</i>	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>Y</i>	<i>t</i>	<i>P</i>		
中华华哲水蚤	涨潮	0.268	0.58	2.45	0.031	0.338	0.95	12.60	0.000
	落潮	0.625	0.99	28.71	0.000	0.069	0.97	15.63	0.000
细巧华哲水蚤	涨潮	—	—	—	—	0.082	0.91	8.67	0.000
	落潮	—	—	—	—	0.034	0.93	9.99	0.000
火腿许水蚤	涨潮	0.310	0.68	3.21	0.007	0.049	0.93	10.20	0.000
	落潮	0.022	0.20	0.82	0.423	0.066	0.56	2.72	0.015
中华咸水剑水蚤	涨潮	0.050	0.39	1.47	0.169	—	—	—	—
	落潮	0.080	0.37	1.59	0.133	0.031	- 0.45	- 1.99	0.064
四刺窄腹剑水蚤	涨潮	0.095	0.33	1.20	0.252	0.300	0.94	11.37	0.000
	落潮	0.030	- 0.03	- 0.13	0.898	0.432	0.98	18.33	0.000
三角大吉猛水蚤	涨潮	—	—	—	—	0.027	- 0.27	- 1.13	0.275
	落潮	—	—	—	—	0.053	- 0.65	- 3.37	0.004

注: *Y* 为优势度,  $\beta$  为标准回归系数, *t* 为 *t* 检验值, “—” 表示不是优势种

表 3 总丰度与温度(°C)和盐度的关系

Tab.3 Regression between total abundance of zooplankton and temperature ( ), and salinity

季节	潮汐	回归方程	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
春季	涨潮	$Y = 15860.20 + 6229.40S_0$	18	0.492	5.10	<0.05
	落潮	—	18	0.155	2.08	>0.05
夏季	涨潮	$Y = 226044.83 - 6298.85t_0$	18	0.844	39.72	<0.001
	落潮	$Y = 83586.37 - 2340.80t_0 + 1050.12S_0$	18	0.773	11.15	<0.05
秋季	涨潮	$Y = -317828.32 + 15354.47t_0$	14	0.560	5.48	<0.05
	落潮	—	18	0.324	2.16	>0.05
冬季	涨潮	$Y = 22839.28 - 978.58S_0$	18	0.776	24.18	<0.001
	落潮	$Y = 63118.30 - 2294.24S_0 - 4245.44 t_0$	18	0.853	20.09	<0.001

物来源,浮游动物数量增多。另一方面,潮沟水体不深,表面积与体积比值大,沟底溶氧丰富,为猛水蚤等多种底栖物种提供良好的生存环境,如春季的三角大吉猛水蚤(涨潮时为  $15.55 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>、落潮时为  $12.79 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>)和四刺破足猛水蚤(涨潮时为  $8.28 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>、落潮时为  $6.32 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>)、夏季的湖泊美丽猛水蚤(涨潮时为  $0.53 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>)及秋季的中华咸水剑水蚤(涨潮时为  $1.45 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>、落潮时为  $1.96 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>)等均对相应季节浮游动物总丰度有较大的贡献。此外,潮沟特殊的环境使其分布有大量的底栖动物幼体、昆虫幼体等阶段性浮游动物,对浮游动物总丰度也有一定的贡献。总之,潮沟环境因子梯度的较大变化为更多的浮游动物物种提供了良好的生长与繁殖场所。

浮游动物总丰度四季变化明显,涨潮时和落潮时的变化趋势均为春季>秋季>夏季>冬季。温度是影响浮游动物生长发育的重要环境因子(Froneman, 2004; Marques *et al.*, 2006)。潮沟水体较浅,温度季节变化明显,是影响东滩潮沟浮游动物数量季节变化的主要因素。通常情况下,浮游动物在最适温度下会大量繁殖,温度过低或过高都会限制浮游动物的生长。一方面,由温度引起的初级生产者藻类数量的增减会影响浮游动物的繁殖。另一方面,各浮游动物种类本身具有不同的适温范围而出现不同的季节分布特点。春、夏、秋和冬季潮沟表层水温分别为( $13.9 \pm 1.7$ )、( $33.0 \pm 2.5$ )、( $21.2 \pm 0.7$ )、( $3.2 \pm 0.9$ )。春季和秋季的温度更适合大多数浮游动物的生长与繁殖,如春季的细巧华哲水蚤、三角大吉猛水蚤、四刺破足猛水蚤、中华华哲水蚤和火腿许水蚤等 5 种浮游动物的丰度大于  $1.75 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>,而秋季中华华哲水蚤、火腿许水蚤、四刺窄腹剑水蚤及中华咸水剑水蚤

等 4 种浮游动物的丰度也在  $1.45 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> 以上,因此春季和秋季的总丰度相对较高;夏季和秋季同处于丰水期,径流带来的淡水冲击,降低了浮游动物群落的丰度;不适于高温的物种进入夏眠状态,故夏季的总丰度不如秋季高;冬季温度低,有些浮游动物种群消减或进入休眠状态,除四刺窄腹剑水蚤和中华华哲水蚤外,其它优势种的丰度均不足  $0.50 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup>,所以冬季总丰度为四季最低。经温度与丰度回归分析,夏季浮游动物数量与温度呈负相关,而秋季涨潮时和冬季落潮时则与温度呈正相关,表明温度变动还影响浮游动物数量的水平分布。

就空间分布特征而言,潮沟浮游动物丰度受盐度影响明显。春、夏季盐度较高的东旺沙边滩区和北八淤边滩区潮沟内浮游动物的数量明显多于盐度较低的近团结沙边滩区,秋季也以盐度较高的东旺沙边滩区的浮游动物数量相对较多。盐度相对高的水域总丰度就高,敞水区如北港北支水域的浮游动物群落也具有这一特征(高倩, 2008<sup>1)</sup>)。处于枯水期的冬季总体盐度上升,而浮游动物在盐度相对较低的近团结沙边滩区的数量最多。由此可见,浮游动物的耐盐范围和最适存活盐度因种类而异,盐度过高或过低都不利于浮游动物的生长发育,说明东滩潮沟浮游动物数量的空间变化也是不同种群长期适应由外来水团引起的潮沟内盐度变化的结果。中华华哲水蚤、火腿许水蚤及中华咸水剑水蚤等多种浮游动物的空间分布与盐度变动关系密切,盐度过高和过低的潮沟其数量分布较少,由此可见,东滩潮沟内浮游动物物种多数为河口半咸水种类。此外,盐度与总丰度的关系由本文结果中盐度与丰度回归分析得以印证。

由以上分析表明,温度、盐度及其相互作用是决定潮沟浮游动物数量分布的主要因素。

1) 高倩, 2008. 长江口北港和北支浮游动物群落生态学比较研究. 中国科学院研究生院硕士学位论文

### 3.2 浮游动物数量变动和优势种的关系

浮游动物数量的时空分布, 主要由优势种的数量分布来决定。东滩潮沟主要优势种对总丰度变化的回归贡献分析表明, 春季涨潮时对总丰度的贡献(值)较大的主要优势种有细巧华哲水蚤、中华华哲水蚤和四刺破足猛水蚤, 落潮时对总丰度的贡献较大的是细巧华哲水蚤和四刺破足猛水蚤, 说明春季浮游动物总丰度变化主要由细巧华哲水蚤、四刺破足猛水蚤和中华华哲水蚤数量变化引起。三角大吉猛水蚤在春季涨、落潮时的优势度较高, 但其数量分布与总丰度变化的一致性较差, 因此, 可以认为该优势种对浮游动物总丰度的变化贡献小。夏季, 涨、落潮时均以中华华哲水蚤和火腿许水蚤对总丰度的贡献较大, 涨潮时湖泊美丽猛水蚤对总丰度的贡献也较大, 表明夏季涨潮时浮游动物总丰度的变化取决于中华华哲水蚤、火腿许水蚤和湖泊美丽猛水蚤的数量分布, 落潮时总丰度的变化则取决于火腿许水蚤和中华华哲水蚤等主要优势种。秋季涨潮时的火腿许水蚤和中华华哲水蚤数量分布与总丰度变化有较好的一致性, 对总丰度的贡献显著, 而落潮时总丰度的变化基本是由中华华哲水蚤的数量变化引起。冬季涨、落潮时中华华哲水蚤、四刺窄腹剑水蚤、细巧华哲水蚤和火腿许水蚤等主要优势种对总丰度变化的贡献值较为均匀, 回归贡献 值在 0.56—0.98 之间, 因此这 3 种浮游动物是冬季最重要的优势种。由以上分析可知, 中华华哲水蚤是东滩潮沟四季最重要的优势种, 火腿许水蚤在夏、秋、冬季是较为重要的优势种, 细巧华哲水蚤在春季是最主要的优势种, 在冬季也是主要的优势种, 四刺窄腹剑水蚤则仅在冬季是主要的优势种。东滩潮沟主要优势种数量的季节变化及各时期的空间分布格局差异明显, 不同优势种的耐盐、耐高温等生理耐受性各不相同, 因此各主要优势种的数量分布情况可以看作是其自身生理特点与潮沟不断变化的环境因子相互作用的结果。

### 3.3 浮游动物数量与潮汐和径流的关系

长江河口是中等潮汐强度的河口, 处于口门处的崇明东滩滩涂受非正规半日浅海潮的影响, 每日有两次涨潮和落潮过程。潮汐变化是东滩滩涂生境最大的变化, 影响动植物的生存、习性和分布(徐宏发等, 2005)。东滩潮沟浮游动物的数量及变动与潮汐有密

切的关系。从数量上来看, 夏、秋、冬 3 个季节落潮时的丰度均大于涨潮时, 而春季涨潮时的丰度大于落潮时, 表明潮汐作用直接影响潮沟水域浮游动物的数量分布。涨潮时, 潮水由北港北支上溯至潮沟, 北港北支近岸水域的浮游动物随潮水进入潮沟, 与潮沟原有的浮游动物混合, 同时潮沟水体体积增大, 从而涨、落潮时浮游动物的数量呈现出一定差异。由此可以推知, 潮汐作用对潮沟与北港北支水域间的物质、能量和信息交流起到重要的作用。从营养水平来看, 频繁的潮汐过程能为滩涂输送丰富的营养物质(马云安等, 2006), 从而也为潮沟浮游动物提供了丰富的食物来源。涨潮时潮水将北港北支水域的藻类等浮游生物携带进入潮沟, 而落潮时潮水将潮滩上的有机碎屑等冲刷进入潮沟, 这样潮汐作用不断为潮沟内浮游动物提供丰富的营养物质。丰富的食物来源为潮沟浮游动物的生存与繁衍提供了重要的物质保障, 因此浮游动物在潮沟内的丰度较高。

长江口水域环境条件复杂多变, 各环境要素时空变化明显, 浮游动物的生态特征是多种环境因子相互作用的结果。长江口北港径流量为长江总径流量的 50% 左右, 其水域主要受径流控制, 潮流影响较小; 北支径流量仅为长江总径流量的 1% 左右(沈焕庭, 2001), 海水及口外半咸水团对该水域影响明显(徐兆礼, 2005)。调查结果显示, 潮沟 S1 和 S2 的盐度终年小于潮沟 S3—S6, 其盐度的差异本质上是与潮沟相通的北港北支水域径流与潮流之间消长的结果。在潮汐作用下, 东滩潮沟与北港北支水域不断地进行着物质和能量的交换。因此, 东滩潮沟浮游动物的生态特征与北港北支水域有一定的关联性, 其数量分布特点与潮汐和径流有密切的关系。

### 参 考 文 献

- 马云安, 马志军, 2006. 崇明东滩国际重要湿地. 北京: 中国林业出版社, 20—29
- 何斌源, 2002. 红树林潮沟游泳动物的季节动态研究. 海洋通报, 21(6): 16—24
- 沈焕庭, 2001. 长江口物质通量. 北京: 中国海洋出版社, 42—91
- 国家质量技术监督局, 1998. 海洋监测规范——海洋生物调查(GB17378.7). 北京: 中国标准出版社, 3—24
- 郑 重, 李少菁, 许振祖, 1984. 海洋浮游生物学. 北京: 海洋出版社, 468—494
- 徐兆礼, 2005. 长江口北支水域浮游动物的研究. 应用生态学

1) 高 倩, 2008. 长江口北港和北支浮游动物群落生态学比较研究. 中国科学院研究生院硕士学位论文

- 报, 16(7): 1341—1345
- 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿等, 1995a. 长江口河口锋区浮游动物生态研究. 优势种的垂直分布. 中国水产科学, 2(1): 64—70
- 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿等, 1995b. 长江口最大浑浊带区浮游动物的生态研究. 中国水产科学, 2(1): 39—48
- 徐兆礼, 林茂, 张金标, 2007. 东海海樽类数量分布及与环境的关系. 海洋与湖沼, 38(6): 549—554
- 徐宏发, 赵云龙, 2005. 上海市崇明东滩鸟类自然保护区科学考察集. 北京: 中国林业出版社, 2—24
- 谢东风, 范代读, 高抒, 2006. 崇明岛东滩潮沟体系及其沉积动力学. 海洋地质与第四纪地质, 26(2): 10—16
- Barss M A, Fransz H G, 1984. Crazing pressure of copepods on the phytoplankton stock of the central North Sea. Netherland Journal of Sea Research, 18: 120—142
- Desmond J S, Zedler J B, Williams G D, 2000. Fish use of tidal creek habitats in two southern California salt marshes. Ecological Engineering, 14(3): 233—252
- Froneman P W, 2004. Zooplankton community structure and biomass in a southern African temporarily open/closed estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 60(1): 125—132
- Hoss D E, Thayer G W, 1993. The importance of habitat to the early life history of estuarine dependent fishes. American Fisheries Society Symposium, 14: 147—158
- Kwak T J, Zedler J B, 1997. Food web analysis of southern California coastal wetlands using multiple stable isotopes. Oecologia, 110(2): 262—277
- Likens G E, Bormann F H, 1974. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystem. BioScience, 24(8): 447—456
- Marques S C, Azeiteiro U M, Marques J C *et al.*, 2006. Zooplankton and ichthyoplankton communities in a temperate estuary: spatial and temporal patterns. Journal of Plankton Research, 28(3): 297—312
- Matthew E K, Kenneth W A, 2007. Nekton utilization of intertidal salt marsh creeks: Tidal influences in natural *Spartina*, invasive *Phragmites*, and marshes treated for *Phragmites* removal. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 346 (1—2): 87—101
- Naiman R J, Decamps H, 1990. The Ecology and Management of Aquatic-terrestrial Ecotones. UNESCO and Parthenon Publish, Paris, 316
- Posey M H, Alphin T D, Cahoon L B *et al.*, 2002. Top-down versus bottom-up limitation in benthic infaunal communities: Direct and indirect effects. Estuaries, 25(5): 999—1014
- Ross S W, 2003. The relative value of different estuarine nursery areas in North Carolina for transient juvenile marine fishes. Fish Bull, 101(2): 384—404

## QUANTITATIVE ANALYSIS OF DISTRIBUTION AND VARIATIONS OF ZOOPLANKTON IN TIDAL CREEKS OF CHONGMING ISLAND

LI Qiang, AN Chuan-Guang, XU Lin-Lin, MA Chang-An, ZHAO Yun-Long  
(School of Life Science, East China Normal University, Shanghai, 200062)

**Abstract** Quantitative distribution and seasonal variations of zooplankton in the tidal creeks of Chongming Island at Dongtan (eastern flat) were studied based on seasonal investigation data obtained from April to December, 2008. The result shows that the total abundance of zooplankton was high in all seasons between over  $4.50 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> in winter and over  $10.00 \times 10^3$  ind/m<sup>3</sup> in other seasons. Due to tide effect, the abundance in flood tide was higher than that in ebb tide in summer, autumn and winter, but in spring. The horizontal distribution of zooplankton was different in six tidal creeks and among 7 main dominant species. The result also shows that the total abundance distribution was determined by *Sinocalanus tenellus*, *Sinocalanus sinensis*, and *Mesochra quadrispinosa* in spring, by *Sinocalanus sinensis* and *Schmackeria poplesia* in summer and autumn, and by *Sinocalanus sinensis* and *Limnoithona etraspina* in winter. In flood tide, the variation in total abundance was somehow related to temperature in spring and winter, but to salinity in summer and autumn. In ebb tide, temperature and salinity had significant correlation with the total abundance in summer and winter, but in spring and autumn. Therefore, environmental factors, such as runoff and tidal current also influenced the temporal and spatial distribution of zooplankton abundance in the tidal creeks.

**Key words** Zooplankton, Quantitative distribution, Temperature, Salinity, Tidal creek