

椒江口化工园区及其邻近区域潮间带 大型底栖动物秋冬季分布特征

赵永强, 陈全震*, 曾江宁, 寿 鹿, 高爱根, 廖一波

(国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 300012)

摘要: 为了解椒江口化工园区及其邻近区域潮间带大型底栖动物分布特征, 评价工厂排污对河口潮间带大型底栖动物生态的影响范围及程度, 在椒江口共设置 6 条潮间带采样断面, 于 2007 年 10 月和 2008 年 1 月进行了大型底栖动物野外调查。研究结果如下: (1) 秋冬两季共采集到大型底栖动物 75 种, 其中秋季 64 种, 冬季 29 种; (2) 物种数呈现河口外断面高于河口内断面的变化趋势; (3) 在各断面软相基质站位, 化工园区及其邻近区域的大型底栖动物物种组成差异较大, 栖息密度和生物量差异不显著; (4) 与国内其他河口近几年的调查数据相比, 椒江口潮间带发现的大型底栖动物物种数较高, 且存在开敞型河口潮间带大型底栖动物物种数大于内湾河口潮间带的现象。

关键词: 椒江口; 化工园区; 潮间带; 大型底栖动物

文章编号: 1000-0933(2009)03-1578-09 中图分类号: Q958.8, X171.5 文献标识码: A

Distribution characteristics of intertidal zone macrozoobenthos in autumn and winter in Chemical Industrial Park and adjacent area, Jiaojiang Estuary

ZHAO Yong-Qiang, CHEN Quan-Zhen*, ZENG Jiang-Ning, SHOU Lu, GAO Ai-Gen, LIAO Yi-Bo

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

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1578 ~ 1586.

Abstract: In order to assess the ecological impact of chemical discharges on intertidal macrozoobenthos, the community distribution of macrozoobenthos was investigated in intertidal zone of Chemical Industrial Park and adjacent area, Jiaojiang Estuary. Field sampling of macrozoobenthos was carried out including six intertidal sections in Oct. 2007 and Jan. 2008. The results showed that: (1) A total of 75 macrozoobenthos species were obtained, of which 64 species were found in autumn and 29 species in winter; (2) The distribution of macrozoobenthos species number showed an increasing trend from inner to outer estuary; (3) The macrozoobenthos species was significantly different in soft-intertidal zone between the Chemical Industrial Park and adjacent area, despite of similar biomass and density; (4) Compared with other estuaries in China, more macrozoobenthos species were found in Jiaojiang Estuary, which may be related with its wide estuarine gate geographically.

Key Words: Jiaojiang Estuary; Chemical Industrial Park; intertidal zone; macrozoobenthos

入海河口由于受到海水和淡水的共同影响, 生物群落十分独特, 同时在河口区人类活动较为频繁, 排放的各种污染物导致该区域的生态环境更为特殊, 其中大型底栖动物由于具有移动性差、生活周期长的特点, 对生

基金项目: 我国近海海洋综合调查与评价专项资助项目(908-02-04-02、ZJ908-01-01-2、ZJ908-01-02-6); 椒江口临港化工业的海洋生态响应, 国家海洋局第二海洋研究所基本业务专项资助项目(JT0806)

收稿日期: 2008-04-06; 修订日期: 2008-09-28

致谢: 宁波大学严小军先生对本文写作给予帮助, 胡月妹协助鉴定生物样品; 台州市海洋与渔业局江于忠先生提供椒江口化工产业布局信息, 在此一并致谢。

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

态环境有一定的指示作用^[1~4]。在椒江口沿岸共有两个国家级化工原料药基地,外沙化工原料药基地和临海化工原料药基地,分别位于椒江南岸和北岸。外沙基地建设初期,企业生产过程中的污染物直接排放到椒江中,对环境造成严重污染^[5,6],近几年经过国家和相关部门的共同努力,对污水排放不达标的企业进行整顿,产生的污水先经集中处理后才可排入椒江,使得该海域生态环境有一定好转,但近年针对椒江口潮间带底栖动物的状况鲜见报道^[6]。本研究于2007年10月和2008年1月对椒江口化工园区及其邻近区域潮间带进行大型底栖动物调查,探讨了化工厂排污对河口潮间带大型底栖动物生态的影响范围及程度,可为河口区工厂排污的生态影响评价、河口滩涂资源的保护以及合理利用等提供基础数据和理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

椒江是浙江省的第三大河流,入台州湾。椒江口潮间带大多为泥质或泥沙质滩涂,沉积物的主要来源为南下的东海沿岸流携带的泥沙和在内陆架掀沙,椒江输入的泥沙较少,沉积物主要由粒径小于63 μm 的淤泥质粉砂组成;潮汐类型为典型的正规半日潮,涨、落潮平均历时各为5.1 h和7.5 h,平均潮差4.01 m,最大潮差达6.3 m^[8~10]。本研究采样断面设于岩头化工园区和临海化工园区及其邻近区域的潮间带,范围为28°35'20.04" ~ 28°42'27.00"N, 121°28'27.84" ~ 121°36'59.04"E。

1.2 采样方法和实验操作

秋冬季动物样品采集分别于2007年10月22日至10月28日间和2008年1月10日至1月16日间进行,共设置6条潮间带采样断面,分别位于椒江口里西潭(S1)、杜下浦闸(S2)、涂岙(S3)、岩头(S4)、三甲九塘(S5)和三甲八塘(S6),其中位于化工园区的采样断面为S1、S2、S4和S5,其邻近区域的采样断面为S3和S6,见图1。每断面设置5个采样站位,其中高潮区和低潮区各设1站,中潮区设3站。用手持GPS(型号:Magellan GPS315)定位。

软相底质样品采集采用25 cm × 25 cm × 30 cm 采样器,每站取8个样方,所采泥样用1 mm孔径的分样筛淘洗,获取大型底栖动物标本;硬相基质用10 cm × 10 cm 采样框,每站位取4个样方;同时在定量样品采集站位附近广泛采集定性样品。标本用5%的福尔马林溶液固定后带回实验室分析。标本力求鉴定到种,同时统计定量标本各物种的个体数,并用吸水纸吸干动物体表面的水分、用小刀去除体表附着物,测定湿重。

1.3 数据处理

所得数据采用以下方法处理分析:(1) 优势度 $Y = (n_i/N) \times f_i$,式中: N 为每站样品中所有种类的总个体数目, n_i 为第*i*种的个体数, f_i 为该种在各站位出现的频率。(2) Shannon-Wiener 多样性指数 $H' = -\sum_{i=1}^s (p_i)(\ln p_i)$, Pielou 均匀度指数 $J = \frac{H}{H_{\max}}$,式中: S = 每站位所包含的总物种数, P_i = 每站位中属于物种*i*的个体数占总个体数的比例, $H_{\max} = \ln S$ 。

应用Surfer 8.0 绘制采样断面图,SPSS 15.0 进行大型底栖动物栖息密度和生物量差异比较,Primer 5.0 进行聚类分析与非度量多维尺度排序(MDS),SigmaPlot 9.0 绘制各断面物种数、栖息密度、生物量和多样性指数柱形图。

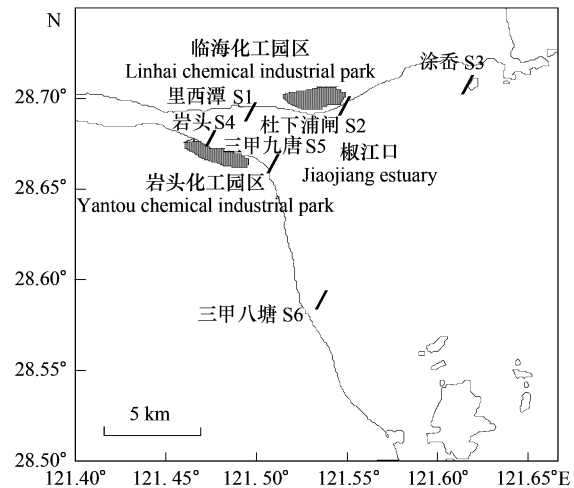


图1 椒江口潮间带采样断面示意图

Fig. 1 Map of sampling section in intertidal zone in Jiajiang estuary

2 结果

2.1 种类组成及分布

秋冬两季共鉴定出大型底栖动物 75 种,其中软体类 29 种(38.2%),甲壳类 24 种(31.6%),多毛类 17 种(22.4%),其他类共 6 种(7.9%)。两季各类群物种数在 6 条断面中的分布特征如图 2 所示,优势种(优势度 $Y>0.02$)分布特征如表 1 所示。

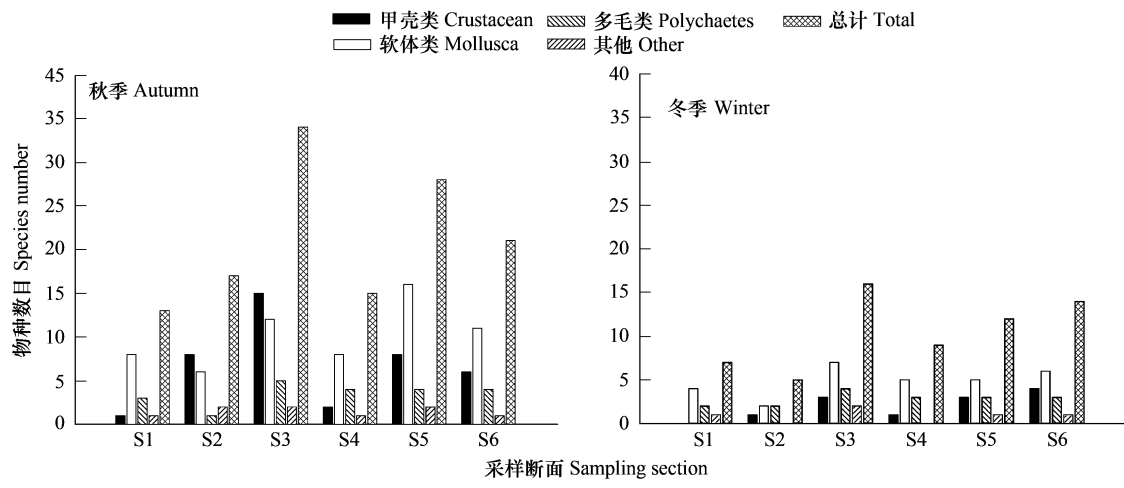


图 2 秋、冬季各采样断面大型底栖动物物种数
Fig. 2 Species number of macrozoobenthos in each sampling section in autumn and winter

表 1 秋冬季各断面优势种的分布特征

Table 1 The dominant species distribution characteristics in each sampling section in autumn and winter

优势种 Dominant species	S1		S2		S3		S4		S5		S6	
	秋 Aut.	冬 Win.	秋 Aut.	冬 Win.	秋 Aut.	冬 Win.	秋 Aut.	冬 Win.	秋 Aut.	冬 Win.	秋 Aut.	冬 Win.
背蚓虫 <i>Notomastus tatericeus</i>				+								
彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>			+		+				+		+	
彩拟蟹守螺 <i>Cerithidea ornata</i>							+					
长足长方蟹 <i>Metaplex longipes</i>					+							
独齿围沙蚕 <i>Perinereis cultrifera</i>									+			
短拟沼螺 <i>Assimineia brevicula</i>							+					
排拟沼螺 <i>A. latericea</i>							+					+
光滑河蓝蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>											+	
光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabar</i>									+		+	+
红带织纹螺 <i>Nassarius succinctus</i>	+				+				+			
习见织纹螺 <i>N. dealbatus</i>									+			
解氏囊螺 <i>Retusa cecillii</i>									+			
锯脚泥蟹 <i>Ilyoplax dentimerosa</i>					+							
明秀大眼蟹 <i>Macrophthalmus definitus</i>			+								+	
日本大眼蟹 <i>M. japonicus</i>									+			
泥螺 <i>Bullacta exarata</i>	+						+		+			
拟突齿沙蚕 <i>Paraleonnates uschakori</i>					+							
双鳃内卷齿蚕 <i>Aglaophamus dibranchis</i>	+		+	+	+		+			+		+
同角螺赢蜚 <i>Corophium homoceratum</i>						+				+		+
微黄镰玉螺 <i>Lunatia gilva</i>									+			
勋章饰孔螺 <i>Decorifera insignis</i>		+	+									
中国绿螂 <i>Glauconma chinensis</i>				+				+			+	

+ : 某优势种在该站出现 The section which appeared the dominant species

2.2 栖息密度与生物量特征

秋冬季化工园区及其邻近区域各断面大型底栖动物各类群的栖息密度与生物量的水平分布分别见图 3 和图 4。可以看出在秋冬两季每断面各类群的栖息密度和生物量之间存在明显的差异,但除 S3 断面外,其余各断面总栖息密度和生物量差异较小。

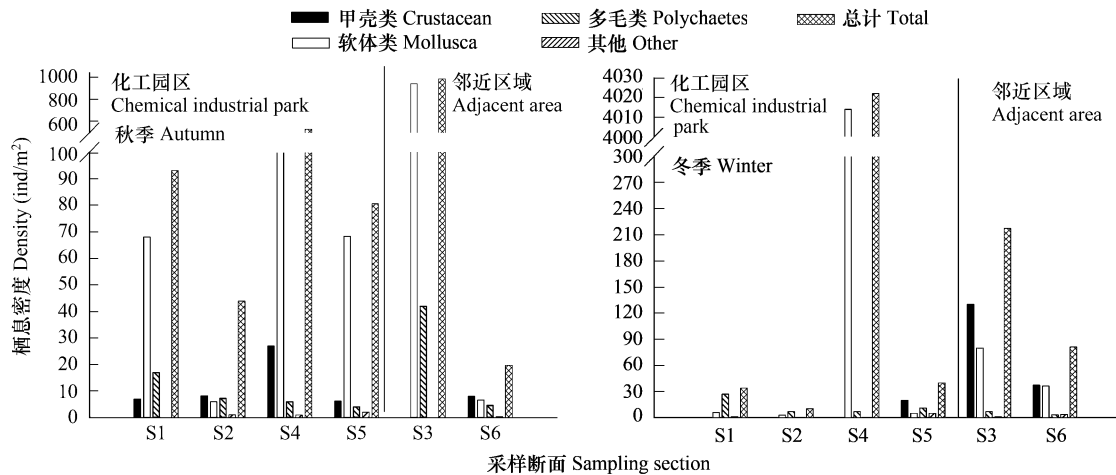


图3 秋、冬季各断面栖息密度特征

Fig. 3 Characteristics of density in each sampling section in autumn and winter

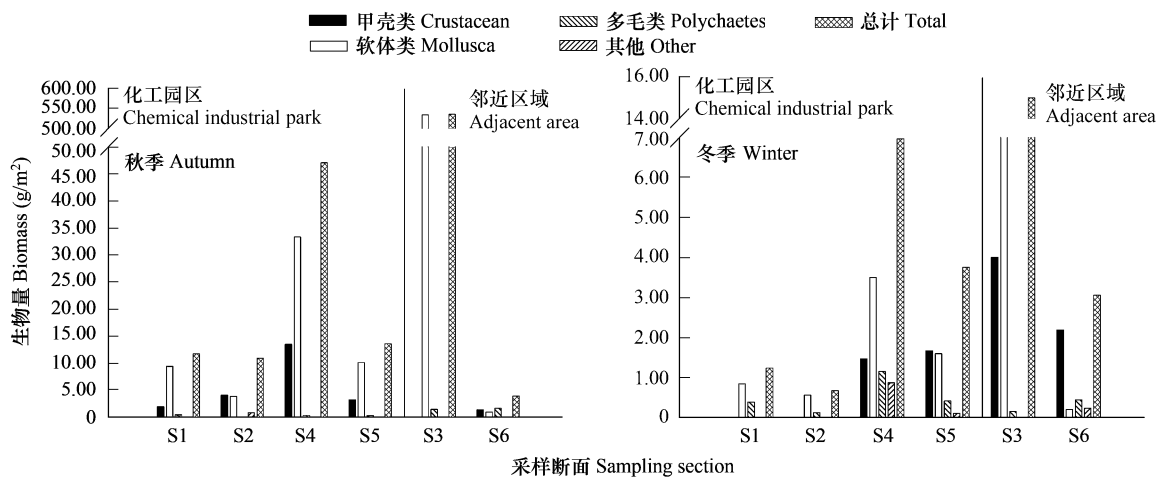


图4 秋、冬季各断面生物量特征

Fig. 4 Characteristics of biomass in each sampling section in autumn and winter

2.3 区域变化比较

2.3.1 聚类与 MDS

在 6 条断面中,高潮区底质差异较大,如三甲九塘、岩头和涂岙 3 断面高潮区为水泥堤坝,生物量较高;里西潭、杜下浦闸和三甲八塘 3 断面高潮区为养殖池塘的泥坝,未采集到大型底栖动物标本。中低潮区均属泥质、泥沙质等软相基质,生境比较类似。为了消除高潮区的影响,仅对 6 条断面中低潮区大型底栖动物栖息密度和生物量进行系统聚类(图 5)和 MDS(图 6)分析,结果在 40% 相似性水平上可以划分为 3 组,里西潭断面和岩头断面为一组;杜下浦闸、三甲九塘和甲八塘 3 个断面为一组、涂岙断面单独为一组。据图 6, stress 值为 0.01, 小于 0.05, 在二维空间, MDS 排序图很好地表示出了底栖动物群落在断面间的相似性与组别间的差异性。

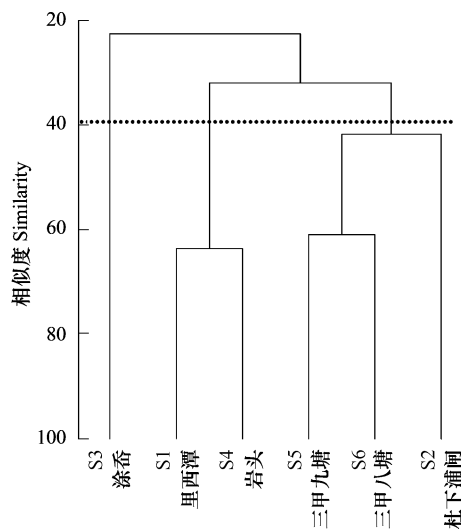


图5 物种欧氏距离系统聚类图

Fig. 5 The hierarchical cluster dendrogram of the macrozoobenthos species based on the Euclidean distance

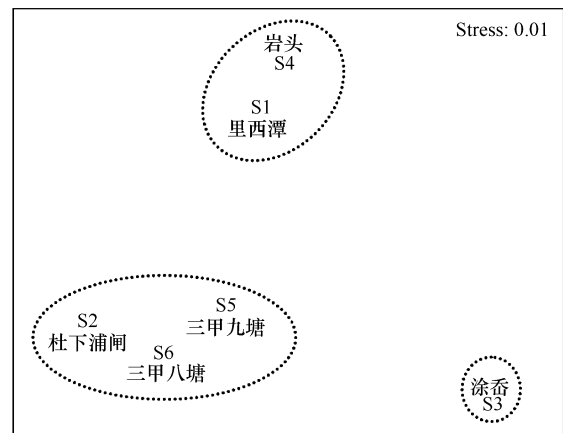


图6 群落 MDS 分析图

Fig. 6 2-dimensional MDS ordinal configuration of the macrozoobenthos communities

2.3.2 栖息密度与生物量方差分析

对位于化工园区的采样断面(S1、S2、S4 和 S5)及其邻近区域的采样断面(S3 和 S6)中低潮区的大型底栖动物栖息密度和生物量进行单因素方差分析,各比较项 P 值均大于 0.05(表 2),表明化工园区和其邻近区域各断面软相基质间的栖息密度和生物量差异不显著。

表 2 单因素方差分析

Table 2 The One-way ANOVA analyze

项目 Item		平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值	P 值 Sig.
栖息密度 Density *	组间变异 Between Groups	867	1	867	0.005	0.949
	组内变异 Within Groups	751011	4	187753		
	总变异 Total	751878	5			
生物量 Biomass *	组间变异 Between Groups	867.00	1	867	0.005	0.949
	组内变异 Within Groups	751010.50	4	187752.625		
	总变异 Total	751877.50	5			
栖息密度 Density **	组间变异 Between Groups	1045480	1	1045480	0.349	0.586
	组内变异 Within Groups	11971731	4	2992933		
	总变异 Total	13017211	5			
生物量 Biomass **	组间变异 Between Groups	8.20	1	8.201	0.266	0.633
	组内变异 Within Groups	123.26	4	30.815		
	总变异 Total	131.46	5			

* : 秋季 Autumn; * * : 冬季 Winter

2.4 生态学指数

两季各断面的 Shannon-Wiener 生物多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)计算结果见图 7 和图 8,可以看出,秋季 H' 和 J 均高于冬季, H' 具有河口外断面高于河口内断面的变化趋势。

3 讨论

3.1 种类组成、栖息密度与生物量

物种分布具有的明显的季节差异:冬季物种数明显少于秋季,秋季发现 65 种,冬季只发现 29 种;在冬季甲壳类物种在总物种数中的比例下降,而其他两类软体类和多毛类物种数所占的比重则有所增加,在秋季,甲

壳类、软体类和多毛类的物种分别占全部物种的 33.85%、40.0% 和 20%, 在冬季, 甲壳类、软体类和多毛类的物种各分别占全部物种的 16.7%、46.7% 和 26.7%, 这很可能是因为甲壳类生物中的蟹类生物适宜温度较高, 而软体类的多毛类物种大多存活温度范围较大, 对温度变化的反应没有蟹类敏感^[11~14]。

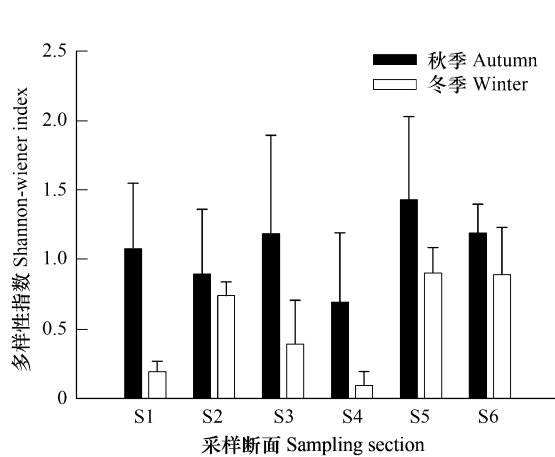


图 7 秋、冬季各断面生物多样性指数

Fig. 7 Diversity Index of macrozoobenthos in each sampling section in autumn and winter

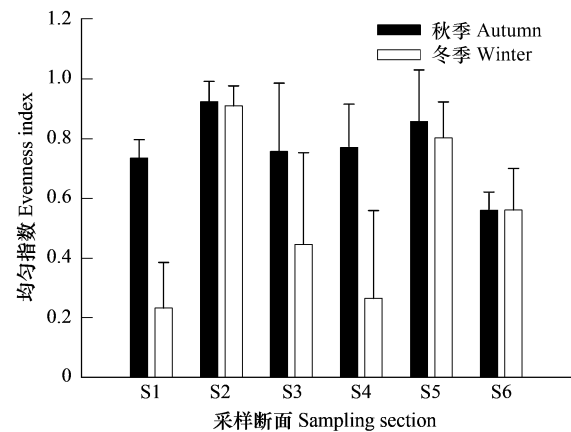


图 8 秋、冬季各断面均匀度指数

Fig. 8 Evenness Index of macrozoobenthos in each sampling section in autumn and winter

两季的优势种差异同样较大, 秋季每条断面一般有 3~5 种优势种或更多, 而冬季每条断面只有 1~3 种, 这种现象的主要原因可能是冬季气温降低, 很多物种消失, 有些物种个体数量很少, 只有一些广温种或耐寒种数量比较大, 形成优势种, 如双鳃内卷齿蚕、光滑狭口螺、同角螺赢蛭和背蚓虫等^[15,16]。

在水泥堤坝生境中滨螺科物种栖息密度在 100 ind/m² 左右, 而泥坝生境中未采集到潮间带大型底栖动物, 这造成了高潮区的生物量和栖息密度差异很大, 主要原因是大型底栖动物群落结构在硬相基质的和软相基质具有明显的差异^[17~19]。

在中低潮区采样站位中, 秋季岩头断面中潮上区的排拟沼螺的生物量和栖息密度高于其他断面一个数量级, 这可能是采样处有稀疏的大米草 (*Spartina anglica*) 分布, 导致该处的水动力较弱, 有机质丰富, 有利于生物大量繁殖^[20], 导致底栖动物集群分布^[21], 致使整条断面平均栖息密度和生物量偏高。在冬季, 岩头断面中国绿螂幼体的栖息密度可达 4000 ind/m², 造成该断面的栖息密度高于其他断面, 主要原因是采样时正值中国绿螂繁殖季节, 且该处的基质较适合其生存, 但由于个体重量很小在生物量上则不为最高。其次, 在涂蚕断面同角螺赢蛭密度可达 200 ind/m², 导致总栖息密度也较高, 但成因需进一步研究。

3.2 区域变化比较

由图 2 看出, 物种数呈现出沿河口内 (里西潭、岩头断面) 到河口外 (涂蚕、三甲八塘断面) 增加的趋势, 在河口生态系统中, 这种趋势很可能与盐度和环境质量有关^[3,22~24,26]。位于两化工园区的里西潭、杜下浦闸、岩头和三甲九塘四条断面共发现大型底栖动物 50 种, 邻近区域的涂蚕和三甲八塘两条断面共发现 56 种, 高于位于化工园区四条断面共发现的种数。McLusky^[31] 对位于苏格兰的 Forth 河口大型底栖动物进行过类似研究, 认为这种现象归咎于环境污染, 而不是自然环境的变化。García-Arberas 和 Rallo^[30] 对大西洋东北部位于比斯开湾中的三处河口的潮间带大型底栖动物进行过研究, 发现位于工业区的 La Arena 和 Plentzia 河口大型底栖动物种数分别为 22 种和 48 种, 而受人类影响很小的 Rallo 河口有 88 种, 主要原因是污染导致 La Arena 和 Plentzia 河口物种数减少。

在表 1 中, 如双鳃内卷齿蚕^[27]、光滑狭口螺^[28,29]、日本大眼蟹^[30]、短拟沼螺^[31] 等物种耐污染能力较强, 在里西潭、岩头、三甲九塘等断面形成优势种, 说明这几条断面很可能受到了比较严重的污染。理化分析结果

表明,在椒江口表层沉积物中,COD、油类、Hg、AS、Cu 和 Pb 等污染物在化工园区附近的浓度要远高于其邻近区域的浓度,且化工园区附近的海洋环境呈恶性污染状态^[6,7],多环芳烃的浓度顺序^[32]为河口内(152.45 ng/g) > 河口中(137.25 ng/g)河口外 > (85.40 ng/g),表明位于化工园区的四条断面受污染程度要远大于邻近区域的两条断面。

由系统聚类 and MDS 分析结果可知分别位于河口上部、中部和下部的各断面物种结构也就有一定的差异性,表明上述各区域间的环境也存在一定的差异性。其中,分别位于八塘、九塘和杜下浦闸的 3 条断面聚为一类,这也可能是八塘沿岸开发为台州滨海工业园区,同样对环境造成影响,而涂岙断面周围数公里都鲜有人口分布,对环境的污染较小,使得该断面与其他断面距离最远。方差分析结果显示,秋冬季两区域的平均栖息密度和生物量没有显著差异。可以认为,化工厂排污导致椒江口潮间带的物种结构沿河口内(化工园区)到河口外(邻近区域)有较大的变化,但是没有引起生物量和栖息密度的显著变化。

3.3 生物多样性指数

生物多样性指数和均匀度指数均与物种数和总个体数有关^[33],秋冬两季生物多样性指数呈现河口外部高,内部低的趋势,这与物种数和栖息密度等分布特征一致。冬季各断面物种数低于秋季,导致生物多样性指数要低于秋季。另外,在冬季气温下降,许多种类消失,个别物种栖息密度很高,如在里西潭、涂岙和岩头等断面,由于分别存在勋章饰孔螺、同角螺赢蜚和中国绿螂等栖息密度很高的物种,使得这 3 条断面的多样性指数和均匀度指数都很低,有些断面没有出现栖息密度很高的物种使得其多样性指数反而较高,如杜下浦闸断面等。

3.4 与其他河口的对比

本次调查共发现大型底栖动物 75 种,均超出以下几处河口发现的潮间带大型底栖动物种数(表 3),当然其中纬度的变化和调查时间的不同以及站位的布设也会对物种数的统计有一定的影响,但是以下不同河口潮间带底栖动物调查的共同特点是站位均布设在工业都比较发达的河口区,而且沿岸人口密度也很高,物种数受人类活动对的影响程度可能要大于受自然环境变化的影响程度。大沽河注入胶州湾,胶州湾是一半封闭海湾,与外海水交换周期较长,河口污染物扩散十分缓慢,且湾内大规模的养殖对环境污染也很严重,导致大沽河口物种数很少^[38,39],而长江口、甌江口和深圳河口沿岸工业也很发达,但比较开敞,污染物容易扩散,潮间带底栖动物种数比较丰富^[34~37,40,41],由此可以看出开敞性河口潮间带大型底栖动物种数大于内湾河口的种数。

表 3 近几年国内其他河口潮间带大型底栖动物种数
Table 3 The species composition of macrobenthic communities at different estuary

调查时间 Survey time	调查范围 Survey area	物种数 Species number					参考文献 References
		甲壳类 Crustacean	软体类 Mollusca	多毛类 Polychaetes	其他 Other kind	总数 Total	
2005 ~ 2006	长江口九段沙	36	24	8	5	73	[34]
2004	甌江口灵昆岛	9	13	5	6	33	[35]
2005	深圳河口	—	—	—	—	42	[36]
2003 ~ 2004	长江口崇明岛北岸滩涂	—	—	—	—	17	[37]
2005	青岛市大沽河河口区	—	—	—	—	6	[39]
2001 ~ 2002	长江口九段沙	20	12	4	2	38	[40]
2000	深圳河口	5	6	12	1	24	[41]

References:

[1] Franz D R, Harris W H. Seasonal and spatial variability in macrobenthos communities in Jamaica Bay, New York-an Urban Esyusry. *Eatuaries*, 1988, 11(1): 15-28.
[2] Rakocinski C F, Brown S S, Gaston G R, *et al.* Species-abundance-biomass responses by estuarine macrobenthos to sediment chemical

- contamination. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 2000, 7: 201—214.
- [3] Lui T H, Lee S Y, Sadovy Y. Macrobenthos of a tidal impoundment at the Maipo marshes nature reserve, Hong Kong. *Hydrobiologia*, 2002, 468: 193—212.
- [4] Harrel R C, Smith S T. Macrobenthic community structure before, during, and after implementation of the Clean Water Act in the Neches River Estuary (Texas). *Hydrobiologia*, 2002, 474: 213—222.
- [5] Liu L, Ma D H. Study of the situation of benthos in the sea area around the sewage outfall of Jiaonan chemical industry area. *Journal of Marine Sciences*, 2005, 23(2): 51—55.
- [6] Wang Y M, Zhang F Y, Xu Z P, *et al.* Assessment on the Situation of ecological environment quality in Jiaojang Estuary. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2005, 24(3): 221—226.
- [7] Jiang, J H, Zhu L Z, Zhang M. Concentration and Sources of Typical Organic Contaminants in seawater, sediment and organisms in Jiaojang Bay. *Environmental Chemistry*, 2006, 25(5): 546—549.
- [8] Jiang G J. Dynamical sedimentation of different grain size suspended sediments in tidal flat of Taizhou Bay, Zhenjiang. *Marine Science Bulletin*, 1993, 12(5): 51—55.
- [9] Guo L, Chen Z H. Remote sensing research on the distributed characteristics of suspended matter in Jiaojang Estuary and Taizhou Gulf. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2007, 29(5): 49—52.
- [10] Zhou H, Jiang G J. Dynamic deposition under the influences of regulation in Jiaojang Estuary. *Hydro-Science and Engineering*, 2001(3): 48—53.
- [11] Lin J H, Zheng F W. Preliminary study on ecology in Quanzhou Bay and its of benthic polychaete adjacent waters. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2007, 26(2): 281—288.
- [12] Wang J B, Li X Z, Wang H F, *et al.* Relationship between quantitative distribution of benthic Polychaete Annelina and environmental factors in Jiaozhou Bay. *Chin Appl Environ Biol*, 2006, 12(6): 798—803.
- [13] Wang J B, Li X Z. Ecological characteristics of dominant Polychaete species from the Jiaozhou Bay. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(1): 63—69.
- [14] Lu L, Wu R S S. Seasonal effects on recolonization of macrobenthos in defaunated sediment: A series of field experiments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 351(1-2): 199—210.
- [15] Liu L S, Li X Z. Distribution of macrobenthos in spring and autumn in the southern Yellow Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2003, 34(1): 26—32.
- [16] Fan M S, Wang H M, Cai R X, *et al.* Studies on intertidal zone ecology of Hangzhou Bay I. composition and distribution of species. *Donghai Marine Science*, 1996, 14(4): 1—10.
- [17] Shou L, Gao A G, Zeng J N, *et al.* The Influence of the sediment environment on distribution of macrobenthos of the intertidal zone in Qushan Island. *Chinese Journal of Zoology*, 2007, 42(3): 79—83.
- [18] Lin W, Zhong H Y, Tang Y J. Species diversity of benthic mollusc in different habitats of intertidal zone in Naozhou Island. *Journal of Tropical Oceanography*, 2002, (21)3: 14—21.
- [19] Cong J G. The common invertebrate community and its diversity in the beach of intertidal zone Yantai. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(1): 56—62.
- [20] Muniz P, Venturini N. Spatial distribution of macrozoobenthos in the Solís Grande Stream Estuary. *Brazilian Journal of Biology*, 2001, 61(3): 409—420.
- [21] Gaudêncio M J, Cabral H N. Trophic structure of macrobenthos in the Tagus Estuary and adjacent coastal shelf. *Hydrobiologia*, 2007, 587: 241—251.
- [22] Warwick R M, Goss-Custard J D, Kirbt R, *et al.* Static and Dynamic environmental Factors Determining the Community structure of estuarine macrobenthos in SW Britain: Why is the Severn Estuary different? *Journal of Applied Ecology*, 1991, 28: 329—345.
- [23] Boesch D F. Species diversity of marine macrobenthos in the Virginia area. *Chesapeake Science*, 1972, 13(3): 206—211.
- [24] García-Arberas L, Rallo A. The intertidal soft-bottom infaunal macrobenthos in three Basque Estuaries (Gulf of Biscay): a feeding guild approach. *Hydrobiologia*, 2002, 475/476: 457—468.
- [25] McLusky D S. Intertidal habitats and benthic macrofauna of the Forth Estuary, Scotland. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 1987, 93 (B): 389—399.
- [26] Duan X H, Wang Z Y, Cheng D S. Benthic macroinvertebrates communities and biodiversity in various stream substrata. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 24(4): 1664—1672.
- [27] Shin P K S, Huang Z G, Wu R S S. An updated baseline of subtropical macrobenthic communities in Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49(1-2): 128—135.
- [28] Yuan X Z, Lu J J, Liu H. Distribution pattern and variation in the functional groups of zoobenthos in the Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2054—2062.
- [29] Xu H P, Yue S H, Shi N, *et al.* Feature of environment of Lianhua Pond and its protection. *Research of Soil and Water Conservation*, 2001, 8 (2): 18—20.

- [30] Chen X F. Survey of Environmental pollution of Jiaozhou Bay. *Marine Science Bullfin*, 1991, 10(4): 71—78.
- [31] Chen Y S, Rao X Z. Community Ecology of Mollusca on Intertidal Zone in Meihua Harbour of Min River Estuary. *Journal of Fujian Teachers University(Natural Science)*, 1997, 13(2): 93—96.
- [32] Jiang J H. Concentration, accumulation and sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in surface sediments in Taizhou Bay. *Marine Science Bullfin*, 2007, 26(4): 85—90.
- [33] Zhang J T. *Quantitative Ecology*. Beijing: Science Press, 2004. 77—96.
- [34] An C G, Zhao Y L, Lin L, *et al.* Primary investigation of seasonal characters of macrobenthic communities distribution in tidal flats of Jiuduansha wetland of Yangtze River Estuary. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(suppl): 52—58.
- [35] Bao Y Ge B M, Zhen X, *et al.* Seasonal variation of the macrobenthic community at east tidal flat of Lingkun island, Wenzhou Bay. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(3): 437—444.
- [36] Jin L, Cai L Z, Zhou X P, *et al.* Secondary production of macrobenthos on the mudflat of northern Shenzhen Bay. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2007, 26(3): 415—421.
- [37] Luo M B, Shen X Q, Xu Z L, *et al.* Study on intertidal macrobenthos in north branch of Changjiang Estuary. *Marine Environmental Science*, 2006, 25(4): 43—47.
- [38] Li X Z, Yu H Y, Wang Y Q, *et al.* Study on species diversity of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay. *Biodiversity Science*, 2001, 9(1): 80—84.
- [39] Wang Y L, Cui W L, Liu F, *et al.* Study on the status of Eco-environment in Daguhe Estuary of Qingdao. *Environmental Monitoring in China*, 2007, 23(3): 77—80.
- [40] Zhu X J, Lu J J. Functional groups of zoobenthos in the intertidal zone of Jiuduansha, the Yangtze River Estuary. *Zoological Research*, 2003, 24(5): 355—361.
- [41] Li H M, Meng H T. Analysis of environmental factors impacting spatio-temporal variation of benthic community structure in Shenzhen Bay. *Marine Environmental Science*, 2004, 23(1): 37—40.

参考文献:

- [5] 刘莲, 马道华. 椒南化工区排污口附近海域的底栖生物状况. *海洋学研究*, 2005, 23(2): 51—55.
- [6] 王益鸣, 张凤英, 许贞平, 等. 椒江河口生态环境质量评价. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2005, 24(3): 221—226.
- [7] 江锦花, 朱利中, 张明. 椒江口水体和生物体中典型有机污染物的浓度水平及来源初探. *环境化学*, 2006, 25(5): 546—549.
- [8] 蒋国俊. 浙江台州湾潮滩不同粒级悬沙的动力沉积. *海洋通报*, 1993, 12(5): 51—55.
- [9] 郭琳, 陈植华. 椒江口—台州湾悬浮泥沙分布特征遥感研究. *武汉理工大学学报*, 2007, 29(5): 49—52.
- [10] 周海, 蒋国俊. 椒江口整治工程影响下的动力沉积作用. *水利水运工程学报*, 2001(3): 48—53.
- [11] 林俊辉, 郑凤武. 泉州湾及其附近海域底栖多毛类生态的初步研究. *台湾海峡*, 2007, 26(2): 281—288.
- [12] 王金宝, 李新正, 王洪法, 等. 胶州湾多毛类环节动物数量分布与环境因子的关系. *应用与环境生物学报*, 2006, 12(6): 798—803.
- [13] 王金宝, 李新正. 胶州湾多毛类环节动物优势种的生态特点. *动物学报*, 2006, 52(1): 63—69.
- [15] 刘录三, 李新正. 南黄海春秋大型底栖动物分布现状. *海洋与湖沼*, 2003, 34(1): 26—32.
- [16] 范明生, 王海明, 蔡如星, 等. 杭州湾潮间带生态学研 I. 种类组成与分布. *东海海洋*, 1996, 14(4): 1—10.
- [17] 寿鹿, 高爱根, 曾江宁, 等. 底质环境对浙江衢山岛潮间带大型底栖动物分布的影响. *动物学杂志*, 2007, 42(3): 79—83.
- [18] 林炜, 钟海莹, 唐以杰. 硇洲岛潮间带不同生境底栖软体动物物种多样性研究. *热带海洋学报*, 2002, (21)3: 14—21.
- [19] 丛建国. 烟台潮间带底栖无脊椎动物群落和多样性研究. *生态学报*, 1998, 18(1): 56—62.
- [20] 段学花, 王兆印, 程东升. 典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性. *生态学报*, 2007, 24(4): 1664—1672.
- [28] 袁兴中, 陆健健, 刘红. 长江口底栖动物功能群分布格局及其变化. *生态学报*, 2002, 22(12): 2054—2062.
- [29] 徐海鹏, 岳升阳, 石宁, 等. 莲花池环境特征及其保护. *水土保持研究*, 2001, 8(2): 18—20.
- [30] 陈先芬. 胶州湾环境污染调查报告. *海洋通报*, 1991, 10(4): 71—78.
- [31] 陈寅山, 饶小珍. 闽江口梅花港潮间带贝类动物群落生态研究. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 1997, 13(2): 93—96.
- [32] 江锦花. 台州湾海域表层沉积物中多环芳烃的浓度水平、富集规律及来源. *海洋通报*, 2007, 26(4): 85—90.
- [33] 张金屯. *数量生态学*. 北京: 科学出版社, 2004. 77—96.
- [34] 安传光, 赵云龙, 林凌, 等. 长江口九段沙潮间带大型底栖动物季节分布特征的初步研究. *水产学报*, 2007, 31(suppl): 52—58.
- [35] 鲍毅新, 葛宝明, 郑祥, 等. 温州湾灵昆岛东滩潮间带大型底栖动物群落的季节动态. *水生生物学报*, 2007, 31(3): 437—444.
- [36] 金亮, 蔡立哲, 周细平, 等. 深圳湾北岸泥滩大型底栖动物次级生产力研究. *台湾海峡*, 2007, 26(3): 415—421.
- [37] 罗民波, 沈新强, 徐兆礼, 等. 长江口北支水域潮间带大型底栖动物研究. *海洋环境科学*, 2006, 5(4): 43—47.
- [38] 李新正, 于海燕, 王永强, 等. 胶州湾大型底栖动物的物种多样性现状. *生物多样性*, 2001, 9(1): 80—84.
- [39] 王艳玲, 崔文连, 刘峰, 等. 青岛市大沽河河口区生态环境现状研究. *中国环境监测*, 2007, 23(3): 77—80.
- [40] 朱晓军, 陆健健. 长江口九段沙潮间带底栖动物的功能群. *动物学研究*, 2003, 24(5): 355—361.
- [41] 历红梅, 孟海涛. 深圳湾底栖动物群落结构时空变化环境影响因素分析. *海洋环境科学*, 2004, 23(1): 37—40.