

灵昆岛围垦区内外滩涂大型底栖动物生物多样性

胡知渊, 李欢欢, 鲍毅新*, 葛宝明

(浙江师范大学 生态研究所, 浙江 金华 321004)

摘要: 2006 年 2 月至 2006 年 11 月在灵昆岛东滩湿地选择 1997 年围垦潮沟滩涂以及围垦区外的自然滩涂作为样地, 开展了自然滩涂与围垦潮沟滩涂大型底栖动物群落生物多样性比较的调查研究。共发现大型底栖动物 36 种, 隶属 7 门 8 纲 22 科, 这些物种中软体动物、节肢动物和环节动物共占物种总数的 83.33%。其中在围垦区内的 4 个样点共发现大型底栖动物 27 种, 在自然滩涂上的 4 个样点共发现大型底栖动物 32 种。通过对定量取样获得的各群落大型底栖动物密度数据进行计算, 得到了各种大型底栖动物的生态位宽度和围垦区内外不同生境中大型底栖动物群落生物多样性指数 (Shannon-Weiner 指数 H' 、Pielou 指数 J 、Simpson 指数 D), 结果显示围垦滩涂潮沟上的光滩和边滩以及自然滩涂上的高潮带和中潮带滩涂的 Shannon-Weiner 多样性指数 H' 较高, Simpson 优势度指数 D 则相对较低, 表明了这些位点的大型底栖动物的多样性程度较高, 而长满互花米草 (*Spartina alterniflora*) 位点的 Shannon-Weiner 多样性指数 H' 和 Pielou 均匀度指数 J 都要小于受潮水作用相似的邻近滩涂, 但 Simpson 优势度指数 D 却相对较高, 这表明互花米草入侵已改变了原来的大型底栖动物群落结构。运用相似度指数 J_c 、成对 t 检验以及聚类 and 排序等多种统计学方法对围垦滩涂潮沟和自然滩涂上的各个位点进行了群落相似性分析, 结果表明潮位是影响自然滩涂上大型底栖动物分布的一个重要因素, 不同潮位之间的大型底栖动物群落差异比较明显。相对而言, 围垦区内各生境之间的大型底栖动物群落分化程度较低, 即围垦导致潮位因素对大型底栖动物的分布的影响降低。

关键词: 大型底栖动物; 滩涂; 互花米草; 群落相似性

文章编号: 1000-0933(2008)04-1498-10 中图分类号: Q178 文献标识码: A

Biodiversity comparison of macrobenthic communities at tidal flat of Lingkun Island

HU Zhi-Yuan, LI Huan-Huan, BAO Yi-Xin*, GE Bao-Ming

Institute of Ecology, Zhejiang Normal University, Jinhua 32100, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1498 ~ 1507.

Abstract: We addressed the influence of reclamation on community structure by comparing macrobenthic communities in a natural tidal flat and creek of a tidal flat diked in 1997. Sampling was conducted during Feb. to Nov. 2006 near Lingkun Island, Wenzhou Bay. Eight sampling plots (4 each in natural and diked systems) represented different macrobenthic habitats, including two invaded by *Spartina alterniflora*. In the investigation, a total of 36 species were found, belonging to 22 families, 8 classes, and 7 phyla, most of them being arthropods, mollusks and annelidas. Results indicate that after diking, species richness decreased and the composition of species also had changed. There were 32 species in the natural tidal flat, but only 27 macrobenthic species could be found in the diked tidal flat. The species composition of various macrobenthic communities, life groups and life forms on species of the macrobenthic community in various habitats, the

基金项目: 浙江省自然科学基金重大资助项目 (ZE0204)

收稿日期: 2006-12-25; 修订日期: 2007-08-23

作者简介: 胡知渊 (1984 ~), 男, 浙江绍兴人, 硕士生, 主要从事动物生态学研究。E-mail: huzhiyuan1984@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sky90@zjnu.cn

Foundation item: The project was financially supported by Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No. ZE0204)

Received date: 2006-12-25; **Accepted date:** 2007-08-23

Biography: HU Zhi-Yuan, Master candidate, mainly engaged in animal ecology. E-mail: huzhiyuan1984@163.com

density characters of quantitative sampling exhibited the structure of macrobenthic communities were highly related to the condition of habitats. The niche breadths of the macrobenthos species and biodiversity indices were also analyzed in the paper. Shannon-Weiner index H' was much higher in 2 (high tide level and middle tide level) of the 4 habitats within in diked and natural tidal flats. Plots with *Spartina alterniflora* exhibited lower H' and J than other plots nearby which were unvegetated and similarly influenced by tidewater. Thus, invasion by *Spartina alterniflora* has already influenced and changed the macrobenthic community in these habitats. The similarity index J_c , paired t-tests, the hierarchical cluster of between-groups linkage method and the Non-metric Multidimensional Scaling (MDS) method reveal that the influence of tidal level on macrobenthos distribution is much stronger in the natural flat than in the diked tidal flat.

Key Words: macrobenthos; tidal flat; *Spartina alterniflora*; community similarity

湿地是人类最重要的环境资本之一,被称为“地球之肾”,与森林、海洋一起并列为全球三大生态系统,也是自然界富有生物多样性、最具生产力的生态系统之一,同时又具有较大的环境调节能力。滩涂湿地是湿地系统的重要组成部分,沿海滩涂湿地在我国湿地资源中占有重要地位,并孕育了极为丰富的生物多样性,使其成为许多濒危物种黑嘴鸥(*Larus saundersi*)、黑脸琵鹭(*Platalea minor*)、小天鹅(*Cygnus columbianus*)、白头鹤(*Grus maonacha*)等最重要的越冬地与迁徙停歇地,以及大量湿地水鸟的重要栖息地^[1,2]。同时滩涂湿地中还孕育着各种底栖动物类群。这些底栖动物种类中有很多起着促进有机质分解、营养物质的转化、污染物的代谢,及能量的流转和加速自净过程等作用,并参与对植物落叶的粉碎、细化及部分分解作用,并为迁徙中的鸟类提供食物,直接影响其他物种的生存和繁殖^[3],维系着湿地食物网的稳定,是维持健康生态系统的关键成员^[4,5]。

但目前在沿海地区,大量的自然状态下的滩涂被围垦,很多地方围垦速度大于滩涂的自然形成速度,从而使滩涂围垦带来了许多负面影响^[6]。其中最为突出的就是这些围垦引起的一系列生态问题。沿海滩涂为许多生物种群的生活和繁衍提供了良好的自然生态环境,但是随着滩涂围垦和滥捕掠夺,生物种类逐渐减少,生物多样性受到严重破坏。原有的自然湿地面积变小,导致一些水鸟的栖息地和隐蔽物减少,从而降低了原有湿地上水鸟的物种数目以及这些水鸟的种群数量。而底栖动物作为滩涂湿地食物链中的中心环节,其群落物种数量、分布格局以及群落的优势种也都发生了改变,最终将破坏整个滩涂湿地生态系统的健康稳定。目前关于围垦对底栖动物的影响机制以及底栖动物如何响应生境的变化等问题研究较少,鉴于此,在对灵昆岛大型底栖动物多年调查和研究的基础上^[7,8],于2006年2月至11月开展了自然滩涂与围垦滩涂潮沟大型底栖动物群落生物多样性比较的调查研究。

1 研究方法

1.1 研究地区自然概况

灵昆岛位于浙江省瓯江入海口,为河流及潮流共同作用形成的江口沙洲岛,地势低平,地表面海拔在2.6~3.5 m之间,属亚热带海洋型季风性气候,温暖湿润,年均气温17℃,年降水量为1690 mm,无霜期310 d。研究所选取围垦区滩涂的围垦年份为1997年,是距离现在最近的1次围垦,至今已有近10a的围垦历史。围垦区内保留有1条潮沟,现仍受潮水的影响。该潮沟长度约为5.5 km,宽度为45 m左右,大致呈东北—西南走向,无淡水源。潮沟的两侧边滩均为无植物生长的充分发育的光泥滩,两侧以外是发育成熟的互花米草(*Spartina alterniflora*)的草滩。在围垦滩涂潮沟草滩以外存在少量尚未被互花米草入侵的光滩,这些光滩受潮水的影响情况与自然滩涂上的高潮带基本一致。围垦区外是自然滩涂,按潮带可以分为高潮带、中潮带、低潮带。其中高潮带有部分滩涂湿地已被互花米草入侵,形成与潮沟两侧生境相似的草滩。

1.2 取样方法

1.2.1 样方设置

灵昆岛的地理位置和位点分布情况见图1。在围垦区内的潮沟上设置1条贯穿潮沟底、边滩、草滩、光滩

的样带,代表了围垦区内滩涂的 4 种不同的生境,同时在自然滩涂上按潮带进行取样。具体样点设置为:围垦滩涂潮沟上发育成熟的草滩(A1)、光滩(A2)、边滩(A3)、潮沟底(A4),围垦区外自然滩涂上发育成熟的草滩(B1)、高潮带(B2)、中潮带(B3)、低潮带(B4)。其中 A1 和 B1, A2 和 B2, A3 和 B3, A4 和 B4 之间受潮水影响的情况基本相同。

1.2.2 标本采集

在最低潮时,用自制 33 cm × 30 cm × 20 cm 的铁质 0.1 m² 采样器采集泥样,采样深度为 20 cm。每个样点采集 5 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。在定量获取动物标本的同时,还采集定性样品。动物标本临时用 10% 福尔马林固定,带回室内后,分类计数,再把动物标本保存于 70% 的酒精中。以上操作参考《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》的操作规范以及袁兴中等人的具体操作流程^[9,10]。取样间隔时间为 3 个月,即每季度取样 1 次,分别为 2006 年 2 月、5 月、8 月和 11 月。

1.3 数据分析

根据不同滩涂大型底栖动物群落生物多样性比较的需要和本文样方设置的特点,参照以下公式^[11~13]对取样所得的数据进行分析:

Jaccard 指数

$$Jc = c / (a + b - c) \times 100\%$$

Shannon-Wiener 生态位宽度指数

$$B_i = - \sum_{j=1}^N (P_{ij} \ln P_{ij})$$

Shannon-Wiener 多样性指数

$$H' = - \sum_{i=1}^N P_i \ln P_i$$

Pielou 均匀度指数

$$J = - \left(\sum_{i=1}^N P_j \ln P_i \right) / \ln S$$

Simpson 优势度指数

$$D = \sum_{i=1}^n P_i^2$$

距离欧氏距离 (Euclidean distance)

$$ED = \sqrt{\sum_{j=1}^s (X_{ij} - X_{ik})^2}$$

式中, a 为某一调查群落的总物种数, b 为另一调查群落的总物种数, c 为两群落的共有物种数。 P_i 为调查群落中种 i 的个体数的比例, P_{ij} 为种 i 的个体数占 j 样地总个体数的比例, S 为群落定量取样获得的物种数。 X_{ij} 和 X_{ik} 分别为 i 物种在 j, k 样地中密度的 4 次方根。

2 结果与分析

2.1 群落结构

2.1.1 种类组成

共发现大型底栖动物 36 种, 隶属 7 门 8 纲 22 科, 各样点大型底栖动物群落物种组成见图 2。这些物种中软体动物、节肢动物和环节动物共占物种总数的 83.33%。在围垦区内的 4 个样点共发现大型底栖动物 27 种, 在自然滩涂上的 4 个样点共发现大型底栖动物 32 种。其中织纹螺 (*Nassarius* sp.)、四齿大额蟹 (*Metopograpsus quadridentatus*)、豆形拳蟹 (*Philyra pisum*)、橄榄拳蟹 (*P. olivacea*)、长吻沙蚕 (*Glycera chirori*)、疣吻沙蚕 (*Tyllorrhynchus heterochaeta*)、可口革囊星虫 (*Phascolosoma esculenda*)、大弹涂鱼 (*Boleophthalmus pectinirostris*) 和鰕虎鱼 (*Rhinogobius* sp.) 仅在自然滩涂上有发现。



① 围垦潮沟滩涂 Diked tidal flat (A1, A2, A3, A4)
② 自然滩涂 Natural tidal flat (B1, B2, B3, B4)

图 1 灵昆岛的地理位置及样点分布示意

Fig. 1 Sketch map of sampling sites at Linkun Island

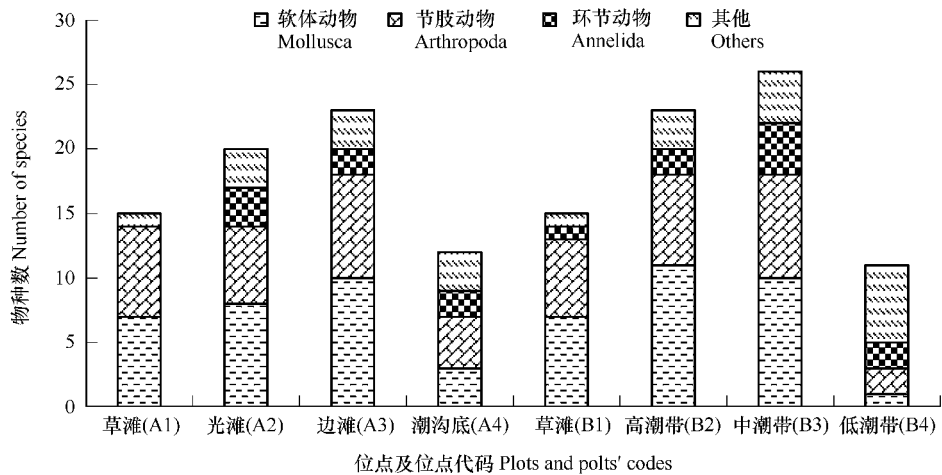


图2 大型底栖动物群落物种组成图

Fig.2 The species composition of macrobenthic communities

A1:草滩 Grass flat;A2:光滩 Mud flat;A3:边滩 Bank of the creek;A4:潮沟底 Bottom of the creek;B1:自然滩涂草滩 Natural tidal grass flat; B2:高潮带 High tidal flat;B3: 中潮带 Middle tidal flat;B4: 低潮带 Low tidal flat; 下同 the same below

2.1.2 群落生活型结构

根据底栖动物相对于底表面的栖息位置进行具体划分,将生活型分为2个生活类群:(1)面上生活类群 (group of surface,GS),即生活于潮滩底质表面上的动物类群,包括底上运动迟缓型,以及游泳底栖型;(2)底内生活类群 (group of surface below,GSB),即生活在底质内的类群,包括底内潜穴型(以下简称潜穴型)和穴居型^[14,15]。其中GS/GSB比值反映了不同生境对2大类不同生活类型的底栖动物数量分布的影响。从围垦区内外各大型底栖动物群落生活型结构(表1)可知,无论在围垦区内还是在自然滩涂上,互花米草草滩的GS/GSB值都比其他无植被生长的生境要大,如A1位点的GS/GSB达到了1.14,B1位点的GS/GSB值达到了0.88,在这2个生境中潜穴型的生物种类(如沙蚕、纽虫、线虫、软体动物双壳类等)相对较少。而受潮水影响较大的潮沟底和低潮带GS/GSB值都比较小,A4和B4位点的GS/GSB值都在0.45以下,底上运动迟缓型大型底栖动物(主要是腹足纲)种类较少。

表1 围垦区内外不同生境大型底栖动物群落生活类群和生活型的物种数

Table 1 Life groups and life forms on species of the macrobenthic community in various habitats

位点 Plots	生活类型 Life forms	物种数量 Numbers of species							
		围垦区内 Diked tidal flat(TF97)				自然滩涂 Natural tidal flat(TF)			
		A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
面上群 Group of surface (GS)	底上运动迟缓型 Slowly motion	7	6	8	1	6	8	7	0
	游泳型 Swimming	1	1	1	3	1	1	3	3
小计 Subtotal		8	7	9	4	7	9	10	3
底内群 Group of surface below (GSB)	潜穴型 Infaunal	0	7	6	6	2	7	9	5
	穴居型 Caving	7	6	8	3	6	7	7	3
小计 Subtotal		7	13	14	9	8	14	16	7
总计 Total		15	20	23	13	15	23	26	10
GS/GSB		1.14	0.54	0.64	0.44	0.88	0.64	0.63	0.43

* 位点代码见图2 The plots' codes reference to Fig. 2

2.2 大型底栖动物密度及生态位宽度

4个季节定量取样获得的大型底栖动物平均密度数据及通过运算得到的生态位宽度见表2。其中生态位

宽度取决于两方面因素,一是该物种在所有生境中分布位点的多少,二是该物种在各位点的数量分布。由表 2 可知围垦区内外不同生境的大型底栖动物群落结构存在着一定的差异,各个物种对生境的适应性也不尽相同。有些物种分布范围较广,对生境变化的适应性相对较好。其中日本沙蚕和青弹涂鱼在 7 个位点中有发现,这 2 个物种的生态位宽度也较大,都在 1.1 以上。而有些物种的分布范围较为狭窄,对生境存在一定的选择性,如螯蛭、四齿大额蟹、豆形拳蟹、长吻沙蚕、齿吻沙蚕等 5 个物种的分布位点仅有 2 个。

表 2 各样点定量取样获得的大型底栖动物密度(ind./m²)数据以及生态位宽度特征

Table 2 Density characters of quantitative sampling and the niche breadths of the macrobenthos species in various habitat

种类 Specie	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	总计 Total	百分数 Percent (%)	生态位宽度 Niche breadth
短拟沼螺 <i>Assiminea brevicula</i>	54	23	50	0	16.5	31.5	19	0	194	21.496	1.935
日本沙蚕 <i>Nereis japonica</i>	0	9.5	23.5	13	1.5	21	31	8.5	108	11.967	1.824
弧边招潮 <i>Uca arcuata</i>	10	28.5	17	0	0	1.5	0	0	57	6.316	0.818
尖锥拟蟹守螺 <i>Cerithidea largillierii</i>	12.5	10	10	0	4	8	11	0	55.5	6.15	1.090
珠带拟蟹守螺 <i>C. cingulata</i>	6.5	7	1.5	0	13	16.5	8.5	0	53	5.873	1.042
青弹涂鱼 <i>Scartelaos viridis</i>	5.5	7.5	8.5	3.5	3.5	10.5	8.5	0	47.5	5.263	1.178
泥蟹 <i>Ilyoplax</i> sp.	8	7.5	8.5	0	2	9	7	0	42	4.654	0.885
纽虫 <i>Nemertean</i> sp	0	2	5	4.5	0	9.5	10.5	9.5	41	4.543	1.126
焦河蓝蛤 <i>Potamocorbula ustulata</i>	0	0	0	3.5	0	7	15.5	9	35	3.878	0.928
伍氏厚蟹 <i>H. wuana</i>	7	5	10.5	0	1.5	7	2	0	33	3.657	0.730
线虫 <i>Eelworm</i> sp	0	0	0.5	3	0	8	13.5	6.5	31.5	3.49	0.881
彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescen</i>	0	0	2.5	1	1.5	15.5	11	0	31.5	3.49	0.643
绯拟沼螺 <i>A. latericera</i>	16	2.5	6	0	5.5	0.5	0	0	30.5	3.38	0.688
日本大眼蟹 <i>Macrophthalmus japonicus</i>	1.5	7	3	0.5	4.5	10.5	0	0	27	2.992	0.700
织纹螺 <i>Nassarius</i> sp	0	0	0	0	1.5	6.5	10	0	18	1.994	0.369
沈氏厚蟹 <i>Helice sheni</i>	1.5	5	4	0	2.5	5	0	0	18	1.994	0.496
螯蛭 <i>Sinonovacula constricta</i>	0	0	0	0	0	10.5	5.5	0	16	1.773	0.269
红螯相手蟹 <i>Sesarma haematocheir</i>	4	4.5	3	0	0.5	3	0	0	15	1.662	0.408
四齿大额蟹 <i>Metopograpsus quadridentatus</i>	0	0	0	0	4.5	8.5	0	0	13	1.44	0.319
泥螺 <i>Bullacta exarata</i>	0	0	0	0	0	1.5	10	1.5	13	1.44	0.334
短滨螺 <i>Littorna brevicula</i>	2	1	1.5	0	3	4	0	0	11.5	1.274	0.369
豆形拳蟹 <i>Philyra pisum</i>	0	0	0	0	0	0	1	3	4	0.443	0.231
长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	0	0	0	0	0	2.5	0.5	0	3	0.332	0.073
齿吻沙蚕 <i>Nephtys caeac</i>	0	0	0.5	2	0	0	0	0	2.5	0.277	0.195
总计 Total	128.5	120	155.5	31	65.5	197.5	164.5	38	900.5	100	

* 位点代码见图 2 The plots' codes reference to Fig. 2

2.3 群落相似度

计算得到了 8 个大型底栖动物群落相互间的共有种和相似度指数 J_c (表 3)。同时,运用 Spss10.0 软件对各大底栖动物群落进行了成对 t 检验处理,所得结果见表 4。 J_c 的大小取决于两方面因素,一是两群落间共有种数量的多少,二是两群落本身物种数量的多少。由表 3 可知,群落间共有种达到或超过 16 种的共有 6 对,分别是 A2 与 A3, A2 与 B2, A2 与 B3, A3 与 B2, A3 与 B3 以及 B2 与 B3。相应地,这些群落间的相似度指数 J_c 也都超过了 0.50。其中 A2 与 A3, A3 与 B2, B2 与 B3 之间的共有种达到了 19 种,它们的相似度指数 J_c 都在 0.60 以上, A2 与 A3 之间的相似度指数则更是达到了 0.79。从成对 t 检验的结果来看,大型底栖动物群

落间差异表现为显著和极显著的共有 9 对, 即 A2 和 B4, A3 和 A4, A3 和 B4, A4 和 B2, A4 和 B3, B1 与 B2, B1 与 B3, B2 与 B4 以及 B3 与 B4。这些样点的差异主要表现在群落的物种组成和群落中各物种的数量分布不同。

表 3 不同群落的共有种和群落间的相似度 J_c Table 3 The common species and similarity index J_c among various habitats

位点 Plots	共有种 Common species							相似度 Similarity index J_c						
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3
A2	13							0.59						
A3	15	19						0.65	0.79					
A4	3	7	9					0.13	0.28	0.35				
B1	11	13	13	4				0.58	0.59	0.52	0.17			
B2	14	18	19	7	15			0.58	0.72	0.70	0.25	0.65		
B3	11	16	17	9	12	19		0.37	0.53	0.53	0.31	0.41	0.63	
B4	1	5	4	5	2	5	9	0.04	0.19	0.13	0.28	0.08	0.17	0.32

* 位点代码见图 2 The plots' codes reference to Fig. 2

表 4 基于大型底栖动物物种密度的群落成对 t 检验Table 4 Paired t -test among macrobenthic communities based on the species density

成对检验 Paired Differences									
No.		平均值 Mean	标准差 Std. Deviation	标准误 Std. Error Mean	95% 置信区间 95% Confidence Interval of the Difference		t 值 t	自由度 df	显著性 Sig. (2-tailed)
					下限 Lower	上限 Upper			
1	A1-A2	0.3542	8.4319	1.7212	-3.2063	3.9147	0.206	23	0.839
2	A1-A3	-1.1250	5.8277	1.1896	-3.5858	1.3358	-0.946	23	0.354
3	A1-A4	4.0625	12.2122	2.4928	-1.0942	9.2192	1.630	23	0.117
4	A1-B1	2.6250	8.5621	1.7477	-0.9905	6.2405	1.502	23	0.147
5	A1-B2	-2.8750	9.2845	1.8952	-6.7955	1.0455	-1.517	23	0.143
6	A1-B3	-1.5000	12.2279	2.4960	-6.6634	3.6634	-0.601	23	0.554
7	A1-B4	3.7708	12.5004	2.5516	-1.5076	9.0493	1.478	23	0.153
8	A2-A3	-1.4792	6.9618	1.4211	-4.4189	1.4606	-1.041	23	0.309
9	A2-A4	3.7083	7.7934	1.5908	0.4175	6.9992	2.331	23	0.029
10	A2-B1	2.2708	6.5789	1.3429	-0.5072	5.0489	1.691	23	0.104
11	A2-B2	-3.2292	7.9755	1.6280	-6.5969	0.1386	-1.984	23	0.059
12	A2-B3	-1.8542	9.7138	1.9828	-5.9560	2.2476	-0.935	23	0.359
13	A2-B4	3.4167	8.4463	1.7241	-0.1499	6.9832	1.982	23	0.060
14	A3-A4	5.1875	10.7459	2.1935	0.6499	9.7251	2.365	23	0.027
15	A3-B1	3.7500	9.1758	1.8730	-0.1246	7.6246	2.002	23	0.057
16	A3-B2	-1.7500	7.7530	1.5826	-5.0238	1.5238	-1.106	23	0.280
17	A3-B3	-0.3750	9.8756	2.0158	-4.5451	3.7951	-0.186	23	0.854
18	A3-B4	4.8958	11.4645	2.3402	0.0548	9.7369	2.092	23	0.048
19	A4-B1	-1.4375	5.4220	1.1068	-3.7270	0.8520	-1.299	23	0.207
20	A4-B2	-6.9375	6.8482	1.3979	-9.8292	-4.0458	-4.963	23	0.000
21	A4-B3	-5.5625	6.0421	1.2333	-8.1138	-3.0112	-4.510	23	0.000
22	A4-B4	-0.2917	2.2308	0.4554	-1.2336	0.6503	-0.641	23	0.528
23	B1-B2	-5.5000	5.4033	1.1029	-7.7816	-3.2184	-4.987	23	0.000
24	B1-B3	-4.1250	8.0774	1.6488	-7.5358	-0.7142	-2.502	23	0.020
25	B1-B4	1.1458	5.9298	1.2104	-1.3581	3.6498	0.947	23	0.354
26	B2-B3	1.3750	5.8612	1.1964	-1.1000	3.8500	1.149	23	0.262
27	B2-B4	6.6458	7.5592	1.5430	3.4539	9.8378	4.307	23	0.000
28	B3-B4	5.2708	6.3895	1.3043	2.5728	7.9689	4.041	23	0.001

* 位点代码见图 2 The plots' codes reference to Fig. 2

2.4 生物多样性

群落生物多样性表现在两个方面,一是群落中物种数的丰富性,二是各物种在群落中的密度分布。对定量取样得到的各群落大型底栖动物密度数据进行计算,得到了围垦区内外不同生境的大型底栖动物群落生物多样性指数(Shannon-Weiner 指数 H' 、Pielou 指数 J 、Simpson 指数 D)。由图 3 和图 4 可知,无论在围垦区内还是自然滩涂上,发育成熟的互花米草草滩的 Shannon-Weiner 多样性指数 H' 和 Pielou 均匀度指数 J 都要小于受潮水作用相似的邻近滩涂,而 Simpson 优势度指数 D 却相对较高,这表明了互花米草入侵已改变了原来的大型底栖动物群落结构。从整体上看,围垦区内的光滩(A2)和边滩(A3)以及自然滩涂上的高潮带(B2)和中潮带(B3)滩涂的 Shannon-Weiner 多样性指数 H' 较高,Simpson 优势度指数 D 相对较低,表明了这些位点的大型底栖动物的多样性程度较高。

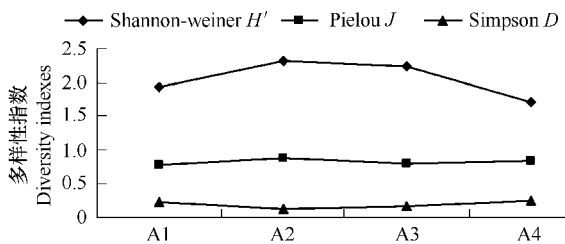


图3 围垦区内不同生境大型底栖动物的多样性指数

Fig. 3 Diversity indices of macrobenthic communities in diked tidal flat

* 位点代码见图 2 The plots' codes reference to Fig. 2

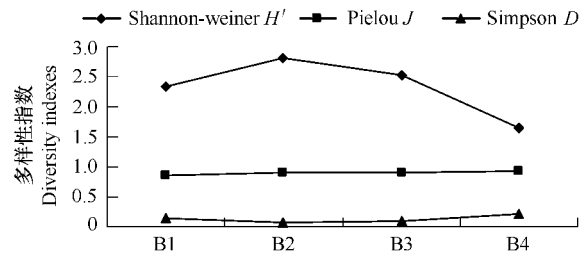


图4 自然滩涂不同生境大型底栖动物的多样性指数

Fig. 4 Diversity indices of macrobenthic communities in tidal flat

* 位点代码见图 2 The plots' codes reference to Fig. 2

2.5 群落聚类和排序

以密度数据 4 次开方为基础,利用种间欧氏距离统计结果进行系统聚类分析(Hierarchical cluster)和物种非度量多维标度(MDS)排序,其结果见图 5 和图 6, (Stress = 0.04677 < 0.05, 表示吻合极好)。根据聚类和排序的结果,可以将 8 个位点分成 4 组,第一组包括 4 个位点,分别是 A1、A2、A3、B1,这些位点无论在聚类图上还是在排序图上相互之间距离都较近。第二组和第三组的位点都只有 1 个,分别是 B2 和 B3,这两个位点比较特殊,和其他位点之间相距都较远,反映了这 2 个生境中大型底栖动物群落结构和其他位点中的大型底栖动物群落有很大不同。第四组包括 2 个位点,为 A4 和 B4,这 2 个位点虽然 1 个在围垦区内,1 个在自然滩涂上,但在聚类和排序图上的位置相对较近,这是由于这 2 个位点受潮水冲刷的影响都比较大,1 天之中有潮水浸没的时间也明显比其他位点多,不适合一些大型底栖的生存(如软体动物腹足纲的种类),物种的种类有一定的相似性,这些结果反映了 A4 和 B4 位点大型底栖动物群落的相似性以及和其他位点生境的相异性。从排序图来看,可以推测出影响第一维(横向)主要因素是潮汐水文条件,而第二维(纵向)主要影响因素是群落的多样性情况。

3 讨论

3.1 滩涂湿地大型底栖动物群落结构和生物多样与生境有直接关系。由图 2 和表 2 可知,在围垦区内群落结构最为复杂的是边滩(A3),该位点定性和定量发现的物种数最多,定量取样得到的大型底栖动物密度最大,Shannon-Weiner 多样性指数 H' 在围垦区内的 4 个位点中也最高,这反映了适合在该生境中生长、发育的大型底栖动物的种类较多。在自然滩涂上的 4 个位点中,中潮带滩涂(B3)中发现的大型底栖动物种类最多,达 26 种,而高潮带滩涂(B2)上定量取样所获得的密度最大,这 2 种生境的 Shannon-Weiner 多样性指数 H' 也比互花米草草滩(B1)和低潮带(B4)要高。围垦区内的潮沟底(A4)和自然滩涂上的低潮带(B4)位点定量取样得到的物种数量、密度以及 Shannon-Weiner 多样性指数 H' 都较低,这是由于这 2 个位点受到潮汐水流的作用要远远大于其他位点,不利于那些依靠吸附而生存的运动迟缓型动物,如短拟沼螺、尖锥拟蟹守螺、珠带拟蟹守螺、排拟沼螺等腹足纲种类,这在一定程度上大大减少了这 2 个位点的物种数量和密度,从而导致生物多

样性的降低。从物种本身来看,大型底栖动物对生境具有一定的选择性,这是由物种的生活型所决定的。在草滩上,往往面上群(GS)所占比例较其他位点高,这是由于草滩的土壤性质和其他位点差异较大,特别是土壤内部中互花米草的根相互交错在一起,导致土壤硬度较大,使大部分潜穴型生物(包括环节动物门多毛类和软体动物门瓣鳃纲类、纽虫、线虫等)很难生存。无论在围垦区内还是在自然滩涂上,草滩相对于邻近的位点来讲,群落中发现的大型底栖动物物种数,定量取样得到的大型底栖动物密度以及 Shannon-Weiner 多样性指数 H' 都较低,这说明互花米草的入侵在一定程度上改变了大型底栖动物的群落结构和生物多样性。但目前关于互花米草入侵对底栖动物的影响这方面的报道较少,陈中义等^[16]在研究了崇明东滩湿地的底栖动物后,发现互花米草地的底栖动物物种 Shannon-Wiener 多样性指数, Pielou 均匀度指数都显著低于海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*) 群落。但也有人认为互花米草的入侵并没有降低底栖动物的多样性^[17],甚至国外有研究表明米草区的底栖动物总密度和丰富度要高于邻近的普通滩涂^[18]。所以互花米草入侵形成的湿地环境,是否对底栖动物产生负面影响,目前尚无一致结论^[19]。针对上述情况,应从不同的时间和空间尺度上来分析,从而进一步加强互花米草入侵对底栖动物影响的研究。

3.2 围垦对大型底栖动物群落的结构和生物多样性有

一定的影响。滩涂围垦是目前解决土地减少和用地需求剧增矛盾的重要途径之一,在沿海地区,滩涂围垦对推动区域经济的发展发挥着极其重要的作用,但同时也带来了许多负面影响^[6],特别是围垦导致了原来滩涂湿地生态系统的改变。袁兴中等曾研究了围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响,结果表明围垦使底栖动物群落种类减少及种类组成发生变化^[20]。本文所选样地与其研究地点有所不同,主要区别是本文所调查的围垦区已被围垦 10a 左右仍有潮水影响,且围垦区内各位点生境受潮水影响明显不同,与自然滩涂的潮水干扰作用相似,但从研究结果来看是相一致的,即围垦使大型底栖动物的群落结构发生了变化。这表现在以下几个方面:(1)围垦区内的 A2、A3 位点采样得到的大型底栖动物物种数都要少于自然滩涂上受潮水作用相似的位点 B2、B3。如在 A2 位点共发现大型底栖动物 20 种,而在 B2 位点则发现了 23 种,A3 位点上发现了大型底栖动物 23 种,而在 B3 位点上则发现了 26 种。(2)A1 位点和 B1 位点发现的大型底栖动物物种数相同,都为 15 种,但种类组成却不一样。调查发现在围垦区外草滩(B1)上仍有少量的底内潜穴型动物,如彩虹明樱蛤、日本沙蚕,而在围垦区内的草滩(A1)上,没有出现任何底内潜穴型动物,但出现了中华绒螯蟹和弧边招潮。同时这 2 个位点的优势种也很不一样,特别是作为 A1 位点甲壳动物中数量分布最多的弧边招潮,却在自然滩涂上的 B1 位点没有出现。从定量取样得到的大型底栖动物密度来看,A1 位点大型底栖动物的分布密度要远远高于 B1 位点,但从 Shannon-Wiener 多样性指数来看,却是 B1 位点高于 A1 位点,说明 B1 位点中大型底栖动物分布相对比较均匀。从表 2 中也可以看到,在 A1 位点,短拟沼螺一个物种就占整个群落密度的 40% 以上,优势度比较明显,这一点从 Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数的对比上可以得到印证。导致这些结果的原因可能是围垦干扰以及互花米草入侵的交互效应,关于这点还有待于进一步研究。

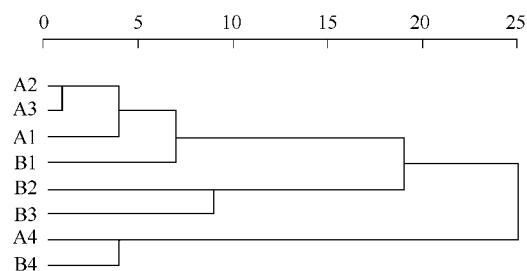


图 5 以欧氏距离为基础的群落系统类图

Fig. 5 Hierarchical cluster dendrogram of macrobenthic communities base on the Euclidean distance

* 位点代码见图 2。The plots' codes reference to Fig. 2

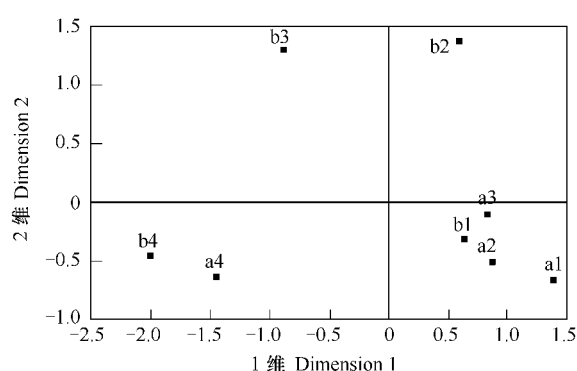


图 6 物种非度量多位标度排序图 (Stress = 0.04677)

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

* 位点代码见图 2 The plots' codes reference to Fig. 2

(3)在 A4 位点上,无论是发现的总物种数,还是定量取样得到的物种数,都比 B4 位点要多 1 到 2 种,这可能是由于围垦区内潮沟坡度较大,各潮位之间距离比较接近,所以其他位点上出现的大型底栖动物很可能由于潮水冲刷的原因导致在邻近的滩涂位点上出现。

3.3 围垦导致各位点之间的生境分化程度降低,潮位对大型底栖动物的影响下降。研究 2 个或多个群落之间的相似程度有很多方法,本文所采用的相似度指数 J_c 、成对 t 检验以及聚类 and 排序的结果都能在一定程度上反映了各位点大型底栖动物群落的相似性或相异性。其中相似度指数 J_c 的测量方法相对较为简单,只考虑了群落之间的物种种类数量的关系,没有将各物种的密度数量分布包含在内,从而导致结果出现一定的误差。如 B1 与 B2 位点的 J_c 指数高达 0.65,比很多其他群落间的相似度指数都要高,但从成对 t 检验的结果来看,这 2 个位点之间的差异极显著,从聚类 and 排序的结果上看,也可以看到这 2 个位点之间的距离较远,群落的相似程度应该不高。成对 t 检验较少用于群落相似性的测度上,但从结果来看,与聚类 and 排序的结果吻合较好,成对 t 检验得出的 9 对差异较大的群落在聚类 and 排序图上相距都较远。从这些群落相似性测度的结果来看,围垦区内外的各生境位点之间的相似关系有着很大的不同。从排序图上可以看到,自然滩涂上的 4 个位点(B1、B2、B3、B4)在二维坐标上分属于不同的区间,各位点之间相距较远,这说明各位点大型底栖动物群落结构之间的差异很大,在聚类图上也可以证明这一点。而围垦区内的 A1、A2、A3 位点在排序图上都属于一个区间,相互之间的距离较小,只有 A4 位点和其他位点之间的距离稍远,这在聚类图上也可以得到印证,同时 t 检验的结果也表明 A1、A2、A3 位点相互之间的差异不显著。这些群落相似性研究表明,潮位是影响自然滩涂上大型底栖动物分布的一个重要因素,不同潮位之间的大型底栖动物群落差异比较明显。相对而言,围垦使围垦区内各生境之间大型底栖动物群落的分化程度降低,使得潮位因素对大型底栖动物的分布的影响降低,导致这个结果的原因可能是围垦滩涂潮沟的各位点之间距离太近,很多大型底栖动物在低潮时容易扩大活动范围,同时围垦后人为干扰的加剧也可能是影响大型底栖动物群落结构的一个重要因素。

References:

- [1] Liu A X, Chen Z H, Ding P, *et al.* Studies on the population number of waterfowls in Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang University (Agric&Life Sci)*, 2001, 27(3): 325—329.
- [2] Ma Z J, Li B, Zhao B, *et al.* Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds? — a case study on Chongming Island. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13(2): 333—350.
- [3] Gong Z J, Xie P, Yan Y J. Theories and methods of studies on the secondary production of zoobenthos. *Journal of Lake Sciences*, 2001, 13(1): 79—88.
- [4] Reise K. *Tidal flat ecology: An experiment approach to species interactions*. Berlin: Springer-Verlag, 1985.
- [5] Yuan X Z, Lu J J. Studies on zoobenthos resources in the islands of the Changjiang estuary. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 37—24.
- [6] Feng L H, Bao Y X. Negative influence of reclamation on tidal flats and strategys for sustainable development. *Marine Sciences*, 2004, 28(4): 76—77.
- [7] Ge B M, Bao Y X, Zheng X. Macrobenthic community ecology of atidal flat in different habitats and creaks dyked in different years. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 446—453.
- [8] Ge B M, Bao Y X, Zheng X, *et al.* The structure of the macrobenthic community and niche analysis at a tidal flat of Linkun Island. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3037—3043.
- [9] Yuan X Z, Lu J J. Preliminary Study on macrobenthic community of the creek in the tidal flat of the Changjiang estuary. *Zoological Research*, 2001, 22(3): 211—215.
- [10] Compiling Group of Concise Regulation of National Coastal Zone and Coastal Resources Comprehensive Survey. Beijing: Ocean Press, 1986.
- [11] Ma K P. Measurement of biodiversity. In: Qian Y Q, Ma K Q. *Principle and Methods of Biodiversity Studies*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1994. 141—165.
- [12] Ma K P, Liu Y M. Methods of measure the bio-communities biodiversity I. α diversity (II). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(4): 231—239.
- [13] Pielou E C. *Ecological Diversity*. New York: John Wiley, 1975 16—51.
- [14] Yang D J, Wang Y L, Ma X T. *Oceanic Invertebrates in North China*. Beijing: Higher Educational Press. 1996. 503—506.
- [15] Fan H Q, He B Y, Wei S Q. Influences of sand dune movement with in the coastal mangrove stands on the macrobenthos in Situ. *Ecological*

Sinica, 2000,20(5):722—727.

- [16] Chen Z Y, Fu C C, Wang H Y, *et al.* Effects of *Spartina alterniflora* invasions on the benthic macro-invertebrates community at Dongming salt marsh, the Yangtze River estuary. *Wetland Science*, 2005,3(1):1—7.
- [17] Zhu X J, Qin P. The alien species *Spartina alterniflora* and *Spartina* ecoengineering. *Marine Sciences*, 2003,27(12):14—19.
- [18] Lana P, Guiss C. Influence of *Spartina alterniflora* on structure and temporal variability of macrobenthic associations in a tidal flat of Paranaguá Bay, Brazil. *Marine Ecology Progress Series*, 1991,73:231—234.
- [19] Daehler C C, Strong D R. Status, Prediction and prevention of introduced cordgrass *Spartina* spp. invasions in Pacific estuaries. *USA Biological Conservation*, 1996,78:51—58.
- [20] Yuan X Z, Lu J J. Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community structure and diversity in the south bank of the Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2001,21(10):1642—1647.

参考文献:

- [1] 刘安兴,陈征海,丁平,等. 浙江湿地水鸟种群数量研究. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2001,27(3):325—329.
- [3] 龚志军,谢平,阎去君. 底栖动物次级生产力研究的理论与方法. *湖泊科学*, 2001,13(1):79—88.
- [5] 袁兴中,陆健健. 长江口岛屿湿地的底栖动物资源研究. *自然资源学报*, 2001,16(1):35—41.
- [6] 冯利华,鲍毅新. 滩涂围垦的负面影响与可持续发展策略. *海洋科学*, 2004,28(4):76—77.
- [7] 葛宝明,鲍毅新,郑祥. 灵昆岛围垦滩涂潮沟大型底栖动物群落生态学研究. *生态学报*, 2005,25(3):446—453.
- [8] 葛宝明,鲍毅新,郑祥,等. 灵昆岛潮间带大型底栖动物群落结构与生态位分析. *生态学报*, 2005,25(11):3037—3043.
- [9] 袁兴中,陆健健. 长江口潮沟大型底栖动物群落的初步研究. *动物学研究*, 2001,22(3):211—215.
- [10] 全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程编写组. 全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程. 北京:海洋出版社,1986.
- [11] 马克平. 生物多样性的测度方法. 钱迎倩,马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京:中国科学技术出版社,1994. 141—165.
- [12] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, 1994,2(4):231—239.
- [14] 杨德渐,王永良,马绣同. 中国北部海洋无脊椎动物. 北京:高等教育出版社,1996. 503—506.
- [15] 范航清,何斌源,韦受庆. 海岸红树林地沙丘移动对林内大型底栖动物的影响. *生态学报*, 2000,20(5):722—727.
- [16] 陈中义,付萃长,王海毅,等. 互花米草入侵东滩盐沼对大型底栖无脊椎动物群落的影响. *湿地科学*, 2005,3(1):1—7.
- [17] 朱晓佳,钦佩. 外来种互花米草及米草生态工程. *海洋科学*, 2003,27(12):14—19.
- [20] 袁兴中,陆健健. 围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响. *生态学报*, 2001,21(10):1642—1647.