

# 盐沼植物对大型底栖动物群落的影响

杨泽华<sup>1</sup> 童春富<sup>2</sup> 陆健健<sup>2</sup>

(1. 湖北省环境科学研究院 政策与规划研究室 ,武汉 430072 2. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室 ,上海 200062 )

**摘要** 2005 年 5 月下旬在崇明东滩中潮区相同高程上的裸地 (ld)、海三棱藨草 (*Scirpus × mariqueter*)地 (hs)、芦苇 (*Phragmites australis*)地 (lw)、互花米草 (*Spartina alterniflora*)地 (hh)里取样研究了大型底栖动物群落。ld 物种数、总个体数、Shannon-Wiener 指数、Margalef 物种丰富度指数、平均密度和平均生物量都是最低的 ;平均密度在裸地和 3 种盐沼植物地间都存在显著差异 ( $P < 0.05$  ,LSD 检验) ;平均生物量在海三棱藨草地与裸地间存在极显著的差异 ( $P < 0.01$  ,LSD 检验) ;等级聚类分析 (Cluster)表明 ,裸地和盐沼植物地间大型底栖动物群落差异明显。hs、lw、hh 中的优势种都是底上附着型的软体动物 ,而 ld 中则以穴居型的甲壳动物占优势。hs、lw、hh、ld 的面上群与面下群的比值分别为 0.56、0.63、0.63、0.75。3 种盐沼植物地间大型底栖动物群落相似性程度较高 ,但非度量多维标度 (MDS)排序仍然揭示出可以区分的差异。这些差异体现了盐沼植物对大型底栖动物群落的明显影响。盐沼植物是通过直接改变生境结构或间接影响水动力和沉积物扰动等作用进而明显地影响大型底栖动物群落 ,盐沼植物也是影响潮间带大型底栖动物群落的重要生态因子。

**关键词** 盐沼植物 ;大型底栖动物群落 ;生态因子

文章编号 :1000-0933 (2007)11-4387-07 中图分类号 :Q178 文献标识码 :A

## Effects of saltmarsh on the benthic macroinvertebrate community in Yangtze Estuary

YANG Ze-Hua<sup>1</sup> , TONG Chun-Fu<sup>2</sup> , LU Jian-Jian<sup>2</sup>

1 Department of Environmental Policy and Planning , Hubei Academy of Environmental Sciences , Wuhan 430072 , China

2 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research , East China Normal University , Shanghai 200062 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) 4387 ~ 4393.

**Abstract** : On intertidal mudflats , invertebrate communities often respond strongly to biogenic species that form emergent structures. This hypothesis was tested by collecting benthic macroinvertebrates from four distinct habitat types , which occurred in a saltmarsh mosaic at an equivalent tidal elevation at Dongtan , Yangtze Estuary , Shanghai , China. Habitat types were : a) *Scirpus × mariqueter* saltmarsh (hs) , b) *Phragmites australis* saltmarsh (lw) , c) *Spartina alterniflora* saltmarsh (hh) , and their contrasting type , d) unvegetated mudflat (ld). Within every habitat type , six quadrats (25cm × 25 cm , 20cm deep) were taken from independent patches in late May , 2005 and sieved (1 mm mesh).

Communities in different habitats were compared in terms of numbers of species , total individuals , Shannon-Wiener index value , Margalef index value , mean density and mean biomass (fresh weight) of the macrofauna. All of these values

基金项目 国家科技部 973 资助项目 (2002CB412406) ;上海市科委重大课题资助项目 (04DZ12049)

收稿日期 2007-03-30 ;修订日期 2007-10-08

作者简介 杨泽华 (1980 ~ ) ,男 ,湖北孝昌县人 ,硕士 ,主要从事系统生态学研究. E-mail : zhy803@126.com

**Acknowledgements** :The authors thank Dr. Jennifer Ruesink (Department of Biology , University of Washington , Seattle) for embellishing the English abstract.

**Foundation item** :The project was financially supported by Profile of 973 Program from the National Ministry of Science & Technology (No. 2002CB412406) ; Shanghai Technology & Science Administration Key Project (No. 04DZ12049)

**Received date** 2007-03-30 ; **Accepted date** 2007-10-08

**Biography** :YANG Ze-Hua , Master , mainly engaged in systematic ecology. E-mail : zhy803@126.com

were lowest on unvegetated mudflat. There were significant differences ( $P < 0.05$ , LSD tests) in the mean macrofaunal density between the three saltmarshes and the ld type, and extremely significant difference ( $P < 0.01$ , LSD tests) in the mean biomass between patch types hs and ld; CLUSTER showed that the macrofauna in type ld were quite different from those in the three saltmarshes.

In patch types hs, lw and hh, the dominant life forms were all adhering Mollusca, whereas that in patch type ld was caving Crustacea. This difference was reflected in the ratios of group of surface to group of surface below in patch type hs (0.56), lw (0.63), hh (0.63), and ld (0.75). Though the macrofauna in the three saltmarshes were relatively similar, they were distinguished from each other by MDS.

Differences in macrofauna between unvegetated mudflat and the three saltmarshes suggest the obvious effects of saltmarsh on the benthic macroinvertebrate community. These effects may be direct, such as alteration of habitat structure, providing resources of food, or may be indirect through shifts in hydrodynamic and deposition regimes. The saltmarsh is thus an important ecological factor which can influence the benthic macroinvertebrate community in the intertidal zone.

**Key Words** : saltmarsh ; benthic macroinvertebrate community ; ecological factor

盐沼植物 (saltmarsh) 是具有潮汐或非潮汐水位变化的咸水水体边缘自然或半自然生长的盐生草本或低矮灌木<sup>[1]</sup>。在巴西南部的巴拉纳瓜湾,与邻近的裸地相比而言,互花米草 (*Spartina alterniflora*) 地内群落的物种数、平均密度和优势度明显要高些<sup>[2,3]</sup>,并且底内动物的时空动态比底上动物的更为明显<sup>[3]</sup>。芦苇 (*Phragmites australis*) 入侵北美东海岸互花米草群落后,使大型底栖动物群落结构发生明显变化<sup>[4]</sup>。我国特有种海三棱藨草 (*Scirpus × mariqueter*) 是通过其地上、地下部分结构导致盐沼生境结构复杂,使生境多样化,为大型底栖动物提供大量的生活空间而影响大型底栖动物群落<sup>[5]</sup>。

但是前人在研究中是沿着潮间带的高程梯度采样的,因而没有排除波浪能、底质类型、淹水程度、温度、盐度随高程的变化而变化<sup>[6~8]</sup>进而影响大型底栖动物群落的特征<sup>[9,10]</sup>。则在排除高程对这些因子的修饰作用的情况下,盐沼植物本身对大型底栖动物群落有何影响,本文对此进行了探讨。

1 材料与方法

1.1 研究地点概况及采样

在上海市崇明岛的东滩采样。东滩位于北亚热带的南缘,潮汐为非正规半日浅海潮。东滩年平均温度为 30℃,冬季平均温度 (11 月到翌年 2 月) 为 6.4℃。年均降雨量为 1022.1mm,无霜期 229d,年平均日照 2129.5h。2005 年 5 月下旬,在东滩捕鱼港小潮高潮位至大潮高潮位间相同高程上呈斑块状镶嵌分布的海三棱藨草地、芦苇地、互花米草地以及裸地 4 种生境中采样。每种生境选取 6 个斑块各布设 1 个样方,样方面积为 25cm × 25cm,深度为 20cm。用 1mm 孔径的网筛淘洗样品,获取大型底栖动物标本,并用 75% 的乙醇溶液固定,带回实验室鉴定及分析处理。

1.2 类群及生活型划分

大型底栖动物生活类群划分为:(1)面上生活群 (group of surface),包括底上附着型 (Adhering)和游泳底栖型 (Swimming);(2)面下生活群 (group of surface below),包括底内型 (Infaunal)和穴居型 (Caving);以 GS、GSB 分别表示面上生活群、面下生活群的物种数,以 GS/GSB 值表示不同生境对两类生活类群动物的数量影响<sup>[11~13]</sup>。

1.3 数据分析

1.3.1 多样性测度

以 Margalef 物种丰富度指数 ( $d$ )、Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )以及 Pielou 均匀度指数 ( $J'$ )测度物种多样性<sup>[14]</sup>。

Margalef 物种丰富度指数:

$$d = (S - 1) / \ln N \tag{1}$$

Shannon-Wiener 指数：

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

(2)

Pielou 均匀度指数：

$$J' = H' / H'_{\max} \quad H'_{\max} = \ln S$$

(3)

式中  $S$  为总种类数  $N$  为总个体数  $p_i$  为种  $i$  的个体数占总个体数的比例  $H'_{\max}$  为最大的种类多样性。

1.3.2 密度和生物量差异显著性分析

对不同生境内大型底栖动物群落的平均密度和平均生物量 (湿重) 先用 SPSS12.0 单因素方差分析 (One-Way ANOVA) ,若 4 个平均值间存在显著性差异 ,进而进行差异显著性检验 (LSD 法多重比较) 。

1.3.3 群落聚类与排序

原始丰度数据经 4 次方根转化及标准化后 ,在 Bray-Curtis 相似性系数<sup>[15]</sup>测量的基础上 ,组合使用等级聚类分析 (CLUSTER) [采用组平均连接法 (Group-average linking) ]和非度量多维标度 (MDS) 排序分析 ,以期更充分地展示各生境大型底栖动物群落结构。相比之下 ,CLUSTER 旨在找出样品的“自然分组” ,以使组内样品彼此间较组间的样品更相似 ,但在决定以何种相似性水平来分组时带有主观任意性 ,它强调的是组的划分而不是在连续尺度上展现样品间的关系 ,因此比较适用于环境条件明显不同 ,样品能够明确划分成组的情况 ;而 MDS 则连续地展示样本间生物组成的相似关系 ,因而能更好地表达群落对于比较连续的非生物环境梯度的响应<sup>[16]</sup>。用胁强系数 (stress) 的范围来判断一个二维 MDS 分析结果图的可用性  $0 < stress < 0.01$  ,结果是完全可信的  $0.01 < stress < 0.05$  ,可信的  $0.05 < stress < 0.1$  ,基本可信  $0.1 < stress < 0.2$  ,结果仍有参考价值 ,但某些细节不可信  $0.2 < stress < 0.3$  ,结果几乎是任意的 ,不可信。多样性指数的计算以及 CLUSTER 和 MDS 分析皆使用 PRIMER 5.0 软件完成<sup>[17]</sup>。

2 结果与分析

2.1 种类及生活型组成

研究区域共记录到大型底栖动物 15 种 (表 1) 。其中甲壳动物 3 种 ,占 20% ,软体动物 5 种 ,占 33.33% ;多毛类 4 种 ,占 26.67% ,其它无脊椎动物 3 种 ,占 20% 。

表 1 不同生境大型底栖动物的种类、生活型组成及分布

Table 1 Macrofaunal species , life forms and distribution in the different habitats							
种类 Species	生境 Habitats				生活型 Life forms		
	ld	hs	lw	hh	in	ca	ad
纽虫 <i>Nemertini</i> gen. sp.		+		+	*		
丝异蚓虫 <i>Heteromastus filiformis</i>		+	+	+	*		
背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i>	+	+	+		*		
多鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys polybranchia</i>		+		+	*		
疣吻沙蚕 <i>Tylorrhynchus heterochaetus</i>		+	+	+	*		
绯拟沼螺 <i>Assiminea latericea</i>		+	+	+			*
堇拟沼螺 <i>A. violacea</i>		+	+	+			*
光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i>	+	+	+	+			*
中华拟蟹守螺 <i>Cerithidea sinensis</i>	+	+	+	+			*
拟沼螺 <i>Assiminea</i> sp.	+	+	+	+			*
谭氏泥蟹 <i>Ilyrplax deschampsii</i>	+	+	+	+		*	
无齿相手蟹 <i>Sesarma denaani</i>	+	+	+	+		*	
天津厚蟹 <i>Helice tridens tientsinensis</i>	+	+	+	+		*	
双翅目幼虫 <i>Diptera</i>		+	+		*		
叶甲幼虫 <i>Chrysomeloidea</i>				+	*		
总计 Total	7	14	13	13			

ld、hs、lw、hh 裸地、海三棱藨草地、芦苇地、互花米草地 ; +  $0 <$  个体数  $<$  总个体数的 1% ; ++ : 占总个体数的 1% ~ 10% ; +++ : 总个体数的 10% ; in、ca、ad 底内型、穴居型、底上附着型 ; \* : 该生活型出现

ld、hs、lw and hh stand for unvegetated mudflat, *Scirpus x mariqueter*, *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* habitat respectively ; + :  $0 <$  individual number  $<$  1% of the total ; ++ : between 1% ~ 10% of the total ; +++ :  $>$  10% of the total ; in , ca , ad stand for the life forms of infaunal , caving and adhering respectively ; \* stands for the record of the life form

各生境生活型和生活类群数量特征见表 2。4 种生境中都没有游泳底栖型动物出现 ,这是因为所有采样点都位于潮间带中潮区上部 ,被水淹没的持续时间及频率都很低 ,不适于游泳底栖型的种类生活。裸地中大型底栖动物群落以穴居型谭氏泥蟹 (*Ilyrplax deschampsi*) 占绝对优势。海三棱藨草地以底上附着型的光滑狭口螺 (*Stenothyra glabra*) 和拟沼螺 (*Assiminea* sp. ) 占优势。芦苇地和互花米草地分别以底上附着型的光滑狭口螺、堇拟沼螺 (*Assiminea violacea*) 占优势。可见 3 种盐沼植物地中优势大型底栖动物都是底上附着型的软体动物 ,而裸地中则以穴居型的甲壳动物占优势。裸地中物种数的 GS/GSB 值最大 ,海三棱藨草地的最小 ,芦苇地和互花米草地的相等。

表 2 不同生境大型底栖动物生活型和生活类群的数量特征  
Table 2 Macrofaunal life forms and life groups numbers in the different habitats

生活型和生活类群 Life forms and life groups		ld	hs	lw	hh
生活型种数 Number of species for each life form	游泳底栖型 Swimming	0	0	0	0
	底上附着型 Adhering	3	5	5	5
	底内型 Infaunal	1	6	5	5
	穴居型 Caving	3	3	3	3
生活类群种数 Number of species for each life group	面上群 GS	3	5	5	5
	面下群 GSB	4	9	8	8
	GS/GSB	0.75	0.56	0.63	0.63

表中符号的含义同表 1 For the meaning of the symbols see table 1

2.2 密度和生物量

4 种生境间大型底栖动物群落的平均密度表现为海三棱藨草地 > 芦苇地 > 互花米草地 > 裸地 ,各生境的平均密度四者间有极显著的差异 (One-Way ANOVA , $P < 0.01$  )。平均密度在海三棱藨草地与裸地间存在极显著的差异 ,在芦苇地与裸地间存在极显著的差异 ,在海三棱藨草地与互花米草地间存在显著的差异 ,在互花米草地与裸地间存在显著的差异 (表 3 )。

各生境间大型底栖动物群落的平均生物量表现为海三棱藨草地 > 互花米草地 > 芦苇地 > 裸地 ,各生境的平均生物量四者间存在显著的差异 (One-Way ANOVA , $P < 0.05$  )。平均生物量在海三棱藨草地与裸地间存在极显著的差异 ,在海三棱藨草地与其它 2 种盐沼地间都存在显著差异 (表 4 )。

表 3 不同生境间大型底栖动物群落的平均密度 (M ± SD ) (ind/m<sup>2</sup> )

Table 3 Mean macrofaunal densities in the different habitats				
生境 Habitat	样本容量 Sample size	平均数 ± 标准差 M ± SD	差异显著性 Significance α = 0.05 α = 0.01	
hs	6	220.80 ± 125.90	a	A
lw	6	160.00 ± 28.62	ab	A
hh	6	140.00 ± 25.04	b	AB
ld	6	40.00 ± 21.00	c	B

表中符号的含义同表 1 ;大、小写字母不同表示二者差异达 0.01、0.05 显著水平 (LSD 检验) For the meaning of the symbols see table 1 ; Different capital or lowercase letters indicate significant difference at 0.01 or 0.05 level respectively (LSD tests)

表 4 不同生境间大型底栖动物群落的平均生物量 (M ± SD ) (g/m<sup>2</sup> fw )

Table 4 Mean macrofaunal biomasses in the different habitats				
生境 Habitat	样本容量 Sample size	平均数 ± 标准差 M ± SD	差异显著性 Significance α = 0.05 α = 0.01	
hs	6	43.17 ± 24.68	a	A
hh	6	22.10 ± 15.23	b	AB
lw	6	21.93 ± 16.50	b	AB
ld	6	8.37 ± 6.40	b	B

表中符号的含义同表 1 ;大、小写字母不同表示二者差异达 0.01、0.05 显著水平 (LSD 检验) For the meaning of the symbols see table 1 ; Different capital or lowercase letters indicate significant difference at 0.01 or 0.05 level respectively (LSD tests)

2.3 不同生境物种多样性

由表 5 可知 4 种生境中大型底栖动物群落的物种数大小关系为 :裸地 < 芦苇地 = 互花米草地 < 海三棱藨草地。总个体数大小关系则为 :裸地 < 互花米草地 < 芦苇地 < 海三棱藨草地。Shannon-Wiener 指数、Margalef 物种丰富度指数都表现为裸地 < 海三棱藨草地 < 芦苇地 < 互花米草地。Pielou 均匀度指数在各生

境间不遵循上述变化规律,但在盐沼植物地间是海三棱藨草地 < 芦苇地 < 互花米草地。裸地物种数最少,3 种盐沼植物地的物种数基本相等,前者约为后三者的一半,因而多样性最低;海三棱藨草地的物种数虽然最多,但只比芦苇地和互花米草地的多 1 种,而且个体数种间分布更不均匀,因而多样性反而较后二者都低;互花米草地和芦苇地的物种数相等,但个体数种间分布相对要均匀些,结果多样性前者较后者高。3 种盐沼植物地的物种数没有什么差别,三者间物种均匀度的差别是由物种间个体数目差别造成的。其中,海三棱藨草地内各物种个体数相差最为悬殊,而互花米草地内则相对较为均匀。

2.4 群落聚类与排序

CLUSTER 聚类分析结果如图 1 所示。4 种生境中的群落被分成了 3 个不同的组。ld,hs,lw,hh 各为一组。裸地和盐沼植物地间大型底栖动物群落可以明显区分开来,3 种盐沼植物地间大型底栖动物群落相似性程度则较高,其中芦苇地和互花米草地间大型底栖动物群落相似性最高。

MDS 排序分析结果见图 2, stress = 0.00 < 0.01,说明这一图形可以极好地解释样本间相似关系。这个结果支持聚类分析结果,也将 4 种生境中的大型底栖动物群落划分为 3 组,而且在聚类分析中非常相似的芦苇地和互花米草地大型底栖动物群落也能清楚地区分开来,说明两者仍存在一定的差异。

3 讨论

3.1 裸地与盐沼植物地间大型底栖动物群落差异明显  
群落学数量特征差异明显。与盐沼植物地相比,裸地中大型底栖动物群落的各种测度指标值都是最小的,并且裸地中的平均密度与 3 种盐沼植物地中的都存在显著差异 (One-Way ANOVA,  $P < 0.05$ )。CLUSTER 分析中,裸地的大型底栖动物群落首先与其它 3 种盐沼植物地的区分开来。

GS/GSB 值及优势种的生活型不同。裸地中物种数的 GS/GSB 值最大,海三棱藨草地的最小,芦苇地和互花米草地的相等。说明裸地与 3 种盐沼植物生境对面上生活群、面下生活群的数量影响存在差异。裸地中大型底栖动物群落以谭氏泥蟹占绝对优势 (占群落个体总数的 47.62%)。海三棱藨草地的优势种为光滑狭口螺和拟沼螺,二者占群落个体数的比例分别为 51.18%、31.99%。芦苇、互花米草地则是单优势种群落,优势种分别为光滑狭口螺及董拟沼螺,对应比例为 44.64%、33.80%。可见 3 种盐沼植物地中优势大型底栖动物都是底上附着型的软体动物,而裸地中则以穴居型的甲壳动物占优势。GS/GSB 值及优势种生活型的综合差别进一步表明了盐沼植物通过改造环境进而影响大型底栖动物群落的空间分布以及各种大型底栖动物对不同盐沼生境的适应<sup>[18]</sup>。

表 5 不同生境大型底栖动物群落的物种多样性  
Table 5 Macrofaunal species diversity variation in the different habitat

项目 Item	生境 Habitat			
	ld	hs	lw	hh
物种数 Number of species	7	14	13	13
总个体数 Total individual number	84	1536	448	355
香农-维纳指数 Shannon-Wiener index	1.24	1.36	1.82	1.85
均匀度指数 Evenness index	0.64	0.52	0.71	0.72
丰富度指数 Richness index	1.35	1.77	1.97	2.04

表中符号的含义同表 1 For the meaning of the symbols see table 1

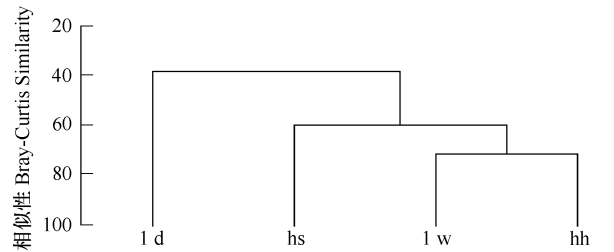


图 1 不同生境大型底栖动物群落丰度的等级聚类  
Fig. 1 Dendrogram for Hierarchical Clustering of macrofaunal abundances in the different habitats

图中符号的含义同表 1 For the meaning of the symbols see table 1

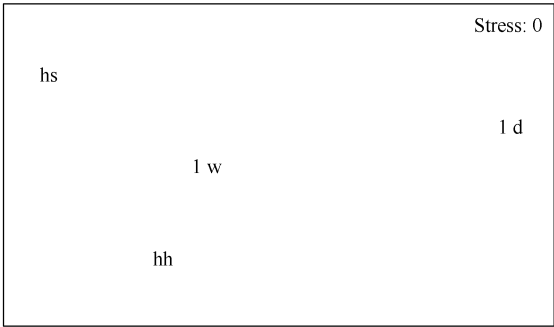


图 2 不同生境大型底栖动物群落丰度的非度量多维标度排序 (stress = 0.00 )

Fig. 2 Non-metric MDS plot of macrofaunal abundances in the different habitats (stress = 0.00 )

图中符号的含义同表 1 For the meaning of the symbols see table 1

盐沼植物的直接和间接作用影响底栖动物的分布和多度。直接作用是为底上动物提供生境的复杂性<sup>[9, 20]</sup> ,植株的地下根、茎为取食植物根及其碎屑物的底栖动物提供丰富的食物来源<sup>[21~23]</sup> ;植株的地上部分对底上食草动物 ,例如腹足类动物有明显的影响 ,并且多毛类的环节动物因为互花米草的根-根茎结构 (root-rhizome mat )能够增加沉积物的氧化活性水平<sup>[24]</sup> 而在这种结构群聚<sup>[25]</sup> 。间接作用一方面是通过减弱波浪能<sup>[26, 27]</sup> 使输运的沉积物变细<sup>[26]</sup> 而使生境更为稳定 ,而稳定的生境是底栖动物生存必不可少的条件<sup>[25]</sup> ;另一方面是使食物集中在动物可利用的区域里<sup>[28]</sup> ,植株的地上部分为底栖动物提供了躲避捕食的避护所<sup>[29]</sup> 进而影响底栖动物群落结构 ,后者对于底栖动物在高强度摄食压力下的河口环境中<sup>[30]</sup> 的生存具有重要意义。在河口湿地 ,底栖动物是湿地大多数鸟类 (包括鸬鹚类 )饵料的重要组成部分<sup>[31]</sup> 。这些作用增加了盐沼植物生境内大型底栖动物群落的营养级、种间竞争和系统的复杂性 ,结果增加了群落的物种丰富度和多样性<sup>[32]</sup> 。

3.2 盐沼植物地间大型底栖动物群落也存在差异

海三棱藨草地与另外 2 种盐沼植物地的大型底栖动物群落差异明显。海三棱藨草地大型底栖动物群落的物种数、总个体数、平均密度和平均生物量都是最高的 ,并且平均密度在海三棱藨草和互花米草地间存在显著差异 ,平均生物量在海三棱藨草地与互花米草地及芦苇地二者间都存在显著差异。芦苇、互花米草根系发达 ,地下生物量远大于海三棱藨草 ,抑制了底内型动物的发展<sup>[33]</sup> ;此外 ,相对于芦苇和互花米草粗大且质地较硬的根而言 ,海三棱藨草营养丰富的地下球茎可能更适合于大型底栖动物的牧食 ,有待于进一步研究、证实 ,结果海三棱藨草地底内型动物的物种数较前二者多 ,GS/GSB 值也是最大的。在长江口的潮间带 ,海三棱藨草地是大型底栖动物群落的最适栖息地。

芦苇地与互花米草地的大型底栖动物群落也存在一定差异。前者与后者的物种数及 GS/GSB 值都是相等的 ,并且两者在平均密度、平均生物量及 Shannon-Wiener 指数、Margalef 物种丰富度指数和 Pielou 均匀度指数上的差别小于他们和海三棱藨草地间的差别 ,说明前二者间群落更为相似。CLUSTER 分析也将前二者与后者分别划分为一组 ,而 MDS 分析则进一步显示前二者间仍然存在可以区分的差别 (图 2 ) ,这是因为 ,CLUSTER 分析强调的是组的划分而不是在连续尺度上展现样品间的关系 ,因此比较适用于环境条件明显不同 ,样品能够明确划分成组的情况 ,而 MDS 分析则连续地展示样品间生物组成的相似关系 ,因而能更好地表达群落对于比较连续的非生物环境梯度的响应。MDS 分析的结果体现了芦苇与互花米草对大型底栖动物群落影响的差别 :互花米草地内大型底栖动物群落的平均生物量及 Shannon-Wiener 指数、Margalef 物种丰富度指数和 Pielou 均匀度指数都比芦苇地的大 ,而平均密度则刚好相反。

本文的研究中 ,盐沼植物地和裸地处在同一高程 ,排除了高程对盐沼植物本身及相关非生物因子的作用 ,专一地显示出了盐沼植物对大型底栖动物群落的影响。基于上文大型底栖动物群落在盐沼植物地与裸地间差异明显 ,在不同盐沼植物地间也有一定差异的事实及对相应差别的机理分析得出 ,除了波浪能、底质类型、淹水程度、温度、盐度<sup>[9, 10]</sup> 外 ,盐沼植物也是影响潮间带大型底栖动物群落的重要生态因子。

References :

[1 ] Mitsch W J , Gosselink J G. Wetlands , 3rd. New York : John Wiley & Sons , 2000. 201.

[2 ] Netto S A , Lana P C. Intertidal zonation of benthic macrofauna in a subtropical salt marsh and nearby unvegetated flat (SE , Brazil). Hydrobiologia , 1997 , 353 : 171 - 180.

[3 ] Netto S A , Lana P C. The role of above- and below-ground components of *Spartina alterniflora* (Loisel ) and detritus biomass in structuring macrobenthic associations of Paranaguá Bay (SE , Brazil). Hydrobiologia , 1999 , 400 : 167 - 177.

[4 ] Talley T S , Levin L A. Modification of sediments and macrofauna by an invasive marsh plant. Biological Invasions , 2001 , 3 : 51 - 68.

[5 ] Yuan X Z , Lu J J , Liu H. Influence of characteristics of *Scirpus mariqueter* community on the benthic Macro-invertebrate in a salt marsh of the Changjiang Estuary. Acta Ecologica Sinica , 2002 , 22 ( 3 ) : 326 - 333.

[6 ] Adams D A. Factors influencing vascular plant zonation in North Carolina salt marsh. Ecology , 1963 , 44 ( 3 ) : 445 - 456.

[7 ] Sanchez J M , Otero X L , Izco J. Relationships between vegetation and environmental charactedstics in a salt-marsh system on the coast of Northwest Spain. Plant Ecology , 1998 , 136 : 1 - 8.

[8 ] Silvestri S , Defina A , Marani M. Tidal regime , salinity and salt marsh plant zonation. Estuarine , Coastal and Shelf Science , 2005 , 62 : 119 - 130.

[9] Dethier M N , Schoch G C . The consequences of scale : assessing the distribution of benthic populations in a complex estuarine fiord. *Estuarine , Coastal and Shelf Science* ,2005 ,62 :253 — 270.

[10] Peter R T , Wooldridge T H . What limits the distribution of subtidal macrobenthos in permanently open and temporarily open/closed South African estuaries ?Salinity vs. sediment particle size. *Estuarine , Coastal and Shelf Science* ,2003 ,57 :225 — 238.

[11] Day J , Hall C A S , Kemp W M , *et al.* *Estuarine Ecology*. New York :Wiley-interscience ,1989. 339 — 376.

[12] Yang D J , Wang Y L , Ma X T . *Oceanic Invertebrates in North China*. Beijing :Higher Educationa Press ,1996. 503 — 506.

[13] Fang H Q , He B Y , Wei S Q . Influence of sand dune movement within the coastal mangrove stands on the macrobenthos in situ. *Acta Ecologica Sinica* ,2000 ,20 ( 5 ) :722 — 727.

[14] Ludwig J A , Reynolds J F . *Statistical Ecology*. New York :John Wiley & Sons , Inc ,1988.

[15] Bray J R , Curtis J T . An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* ,1957 ,27 :325 — 349.

[16] Zhou H , Zhang Z N . Rational of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology. *Journal of Ocean University of Qingdao* ,2003 ,33 ( 1 ) :058 — 064.

[17] Clarke K R , Gorbey R N . PRIMER v5 : User manual/tutorial. Plymouth :PRIMER-E Ltd ,2001.

[18] Yang Z H , Tong C F , Lu J J . Characteristics of Macrobenthic Fauna Communities in Three Successional Stages of the New Emergent Salt Marsh in an Estuary of the Yangtze River. *Zoological Research* ,2006 ,27 ( 4 ) :411 — 418.

[19] Edgar G J , Robertson A I . The influence of seagrass structure on the distribution and abundance of mobile epifauna : patterns and process in a Western Australian Amphibolis bed. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* ,1992 ,160 :13 — 31.

[20] Irlandi E A , Ambrose W G , Orlando B A . Landscape ecology and the marine environment :how spatial configuration of seagrass habitat influences growth and survival of the bay scallop , *Argopecten irradians*. *Oikos* ,1995 ,72 :307 — 313.

[21] Capehart A A , Hackney C T . The potential role of roots and rhizomes in structuring salt-marsh benthic communities. *Estuaries* ,1989 ,12 :119 — 122.

[22] Webster P J , Rowden A A , Attril M J . Effect of shoot density on the infaunal macro-investebrate community within a *Zostera marina* seagrass bed. *Estuarine , Coastal and Shelf Science* ,1998 ,47 :351 — 357.

[23] Kreeger D A , Newell R I E . Trophic complexity between producers and invertebrate consumers in salt marshes. In :Weinstein M P , Kreeger D A (eds. ). *International Symposium : Concept and Controversies in Tidal Marsh Ecology*. Kluwer Academic Publishers , Dordrecht :2000 ,187 — 220.

[24] Teal J M , Wieser W . The distribution and ecology of nematodes in a Georgia salt marsh. *Limnol Oceanogr* ,1966 ,11 :217 — 222.

[25] Lana P , Guiss C . Influence of *Spartina alterniflora* on structure and temporal variability of macrobenthic associations in a tidal flat of Paranaguá Bay (southeastern Brazil). *Marine Ecology Progress Series* ,1991 ,73 :231 — 244.

[26] Frey R W , Bansan P B . Coastal salt marshes. In :Davis R A . *Coastal Sedimentary Environment*. New York :Springer-Verlag ,1985 ,101 — 159.

[27] Yang S L . The role of *Scirpus* marsh in attenuation of hydrodynamics and retention of sediment in the Yangtze Estuary. *Estuarine , Coastal and Shelf Science* ,1998 ,47 :227 — 233.

[28] Peterson C H , Summerson H C , Duncan P B . The influnce of seagrass cover on population structure and individual growth rate of a suspension-feeding bivalve , *Mercenaria mercenaria*. *Journal of Marine Research* ,1984 ,42 :123 — 138.

[29] Irlandi E A . Large- and small-scale effects of habitat structure on rates of predation :how percent coverage of seagrass affects rates of predation and siphon nipping on an infaunal bivalve. *Oecologia* ,1994 ,98 :176 — 183.

[30] Baird D , Evans P R , Milne H , *et al.* Utilization by shorebirds of benthic invertebrate production in intertidal areas. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* ,1985 ,23 :573 — 597.

[31] Masero J A , Pérez-González M , Basadre M , *et al.* Food supply for waders (Aves :Charadrii ) in an estuarine area in the Bay of Cádiz (SW Iberian Peninsula). *Acta Oecologica* ,1999 ,20 ( 4 ) :429 — 434.

[32] Harriague A C , Bianchi C N , Albertelli G . Soft-bottom macrobenthic community composition and biomass in a *Posidonia oceanica* meadow in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Estuarine , Coastal and Shelf Science* ,2006 ,70 :251 — 258.

[33] Talley T S , Levin L A . Macrofaunal succession and community structure in *Salicornia* marshes of southern California. *Estuarine , Coastal and Shelf Science* ,1999 ,49 :713 — 731.

参考文献：

[5] 袁兴中 , 陆健健 , 刘红 . 河口盐沼植物对大型底栖动物群落的影响. *生态学报* 2002 22 ( 3 ) 326 ~ 333.

[12] 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.

[13] 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] 周红 , 张志南 . 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用. *青岛海洋大学学报* 2003 33 ( 1 ) 58 ~ 64.

[18] 杨泽华 , 童春富 , 陆健健 . 长江口湿地三个演替阶段大型底栖动物群落特征. *动物学研究* 2006 27 ( 4 ) :411 ~ 418.