

长江口湿地三个演替阶段大型底栖动物群落特征

杨泽华, 童春富, 陆健健*

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 2001—2005 年对长江口新生沙洲九段沙(上沙、中沙、下沙)盐沼演替序列不同阶段[盐渍藻类阶段(SA)、海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)—藨草(*Scirpus triqueter*)阶段(MT)、芦苇(*Phragmites australis*)—互花米草(*Spartina alterniflora*)阶段(AA)]的大型底栖动物群落特征进行了分析研究。大型底栖动物群落的物种数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、密度及生物量都是 MT>AA>SA。SA、AA 优势种的生活型分别是底内型、穴居型; MT 优势种的生活型是底上附着型和穴居型。不同沙洲相同盐沼演替阶段大型底栖动物群落结构都较为相似, 盐渍藻类阶段的相似性最高; 不同演替阶段间差别明显, SA 和 AA 间差别最大。不同盐沼演替阶段大型底栖动物群落特征的明显差异, 既反映了环境沿盐沼演替序列的梯度变化, 也体现了不同盐沼对底栖动物群落作用的差别, 同时也显示了大型底栖动物对不同盐沼演替阶段生境的适应。

关键词: 盐沼; 演替阶段; 大型底栖动物; 群落结构

中图分类号: Q179.4; Q958.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254–5853 (2006) 04–0411–08

Characteristics of Macrobenthic Fauna Communities in Three Successional Stages of the New Emergent Salt Marsh in an Estuary of the Yangtze River

YANG Ze-hua, TONG Chun-fu, LU Jian-jian*

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

Abstract: The characteristics of macrobenthic fauna communities in the three salt marsh successional stages [saline algae stage (SA), *Scirpus mariqueter* – *Scirpus triqueter* stage (MT) and *Phragmites australis* – *Spartina alterniflora* stage (AA)] were studied during 2001 to 2005, in new emergent shoals, Jiuduansha (Shangsha, Zhongsha and Xiasha), an estuary of the Yangtze River. The results showed that the Shannon-Wiener index, the Pielous Evenness index, the density and the biomass of the communities in each shoal all had the same sequence for these successional stages. This sequence was MT>AA>SA. The dominant life forms at SA and AA stages were infaunal and caving respectively, while those at MT were adhering and caving. The community structures at the same successional stage in the three different shoals were all quite similar and those at the SA stages had even more similarities. However, there were obvious differences among the community structures at the three successional stages, especially between those at SA and AA. These results implied that there was some environmental gradient variation along the successional sequence, and that the salt marsh of the different successional stages had different effects on the macrobenthic fauna communities. Accordingly, the macrobenthic fauna had some adaptation properties to the specific habitats of the different stages.

Key words: Salt marsh; Successional stages; Macrobenthic fauna; Community structure

盐沼不但是河口海岸主要生物栖息地的基本构成要素, 而且是区域生物地化循环的重要环节, 对

系统功能具有重要调控作用。底栖动物是盐沼湿地主要的动物类群之一, 盐沼生长特征对底栖动物群

* 收稿日期: 2006–01–13; 接受日期: 2006–04–06

基金项目: 国家“973”项目子课题资助项目(2002CB412406); 上海市科委项目(04DZ12049)

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: jjlu@sklec.ecnu.edu.cn, Tel: 021–62233680

第一作者简介: 杨泽华 (1980–), 男, 硕士研究生, 研究方向为底栖动物群落生态学及系统生态学研究。

落物种组成及多样性具有重要影响 (Angradi et al., 2001)。单一盐沼植被对底栖动物影响的研究较为广泛 (Capehart & Hackney, 1989; Levin et al., 1998; Yuan et al., 2002a), 但是盐沼不同发育阶段对底栖动物影响的比较研究则相对较少, 且多集中于部分人工湿地的对照实验研究 (Levin et al., 1996; Talley & Levin, 1999)。与盐沼湿地演替相联系的、对应植被演替特征的大型底栖动物群落特征的研究则很少见报道, 仅侧重于单一植被条件下不同时间尺度的底栖动物群落的演替研究 (Craft & Sacco, 2003), 对于盐沼演替序列不同阶段中底栖动物的群落特征的研究则未见报道。研究盐沼不同演替阶段大型底栖动物群落特征, 不仅可以揭示不同盐沼植被对大型底栖动物群落的影响, 而且可以为盐沼湿地生态系统结构重建与功能恢复研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

本研究选择长江河口受人为干扰影响相对较小的新生沙洲——九段沙作为研究基地, 研究盐沼不同演替阶段大型底栖动物群落特征。九段沙位于长

江南支口门区, 于 20 世纪 50 年代露出水面, 由上沙、中沙与下沙三部分组成 (31°06'20"—31°14'00" N, 121°53'06"—122°04'33"E), 东西长约 18 km, 南北宽约 13 km, 0 m 等深线以上面积约 115 km², -5 m 线以上面积约 315 km²; 受东亚季风影响, 四季分明。年均气温为 15—16 ℃, 最高月平均气温为 27.8 ℃ (7 月), 最低月平均气温 3.5 ℃ (1 月); 平均年降水量约 1 100 mm (Yuan et al., 2002b)。九段沙共有高等植物 15 种, 沿高程从低到高的盐沼分布序列依次为盐渍藻类带 (SA)、海三棱藨—藨草 (*Scirpus riquerter*) 带 (MT)、芦苇—互花米草带 (AA), 而盐沼植被成带分布特征, 也代表了盐沼相应的演替阶段 (Tang & Lu, 2003)。

1.2 采样方法及样品处理

在九段沙 (上沙、中沙和下沙) 的代表演替序列的不同植被带, 结合 GPS 定位, 各设置一个采样站位 (图 1)。每一站位取 6 个样方, 样方面积为 25 cm × 25 cm, 取样深度为 20 cm。定量采样的同时, 进行定性采样, 收集定量采样样方周边的底栖动物, 作为相应采样区大型底栖动物的种类组成的补充。样品用 1 mm 孔目的网筛淘洗, 获取大型底栖动物标本, 并用 10 % 的福尔马林溶液固定, 带

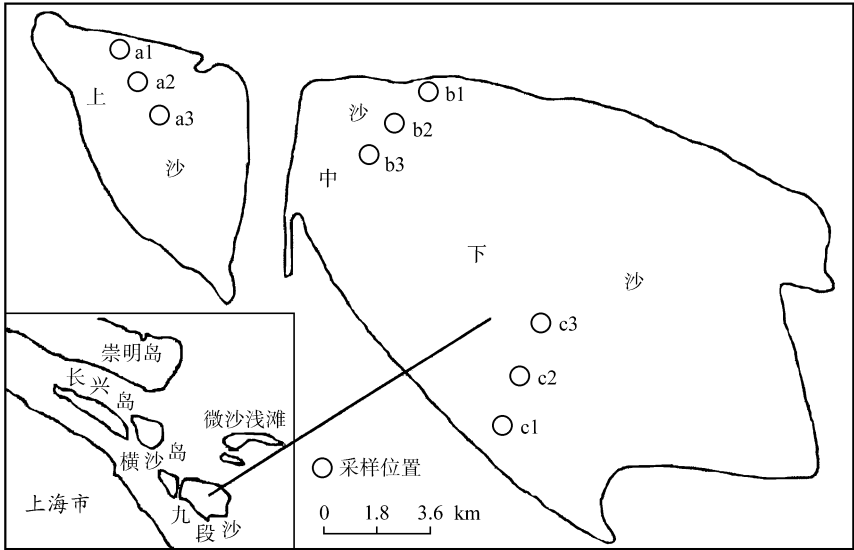


图 1 九段沙三个沙洲采样站位

Fig. 1 Sampling stations in the three different shoals of Jiuduansha

a1、a2、a3: 上沙盐渍藻类阶段、海三棱藨草—藨草阶段、芦苇—互花米草阶段的采样站位; b1、b2、b3: 中沙相应演替阶段的采样站位; c1、c2、c3: 下沙相应演替阶段的采样站位。
a1, a2 and a3 stand for the different sampling stations in saline algae stage, *Scirpus mariqueter* - *Scirpus triqueter* stage and *Phragmites australis* - *Spartina alterniflora* stage in the upper shoal of Jiuduansha respectively; b1, b2, b3 in the middle shoal and c1, c2, c3 in the lower shoal correspondingly.

回实验室鉴定及分析处理。在 2001—2002 年 1、5、8、11 月九段沙大型底栖动物四季采样的基础上,于 2004 年 4、11 及 2005 年 11 月进行了补充采样。

1.3 类群及生活型划分

依本文所采获的样品的实际情况,参考 Day et al (1989)、Yang et al (1996) 及 Fan et al (2000) 等工作,将生活类群划分为:(1) 面上生活群 (group of surface, GS), 包括底上附着型 [软体动物腹足纲所有种及近江牡蛎 (*Crassostrea rivuaria*)、泥藤壶 (*Balanus uliginosus*)] 和游泳底栖型 [甲壳纲等足目、十足目所有种、端足目的中华螺赢蜚 (*Corophium sinensis*) 及几种钩虾]; (2) 面下生活群 (group of surface below, GSB), 包括底内型 [双壳纲所有种、多毛类、昆虫幼虫和一种纽虫 (*Nemertini* gen. sp.)] 和穴居型 (甲壳纲蟹类)。以 GS、GSB 分别表示面上生活群、面下生活群的物种数,以 GS/GSB 值示不同盐沼演替阶段的环境对两类生活类群动物的数量影响。

1.4 数据分析

1.4.1 多样性测度 采用 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 (Ludwig, 1988)。

Margalef 物种丰富度指数:

$$d = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

Shannon-Wiener 指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数:

$$J' = H' / H'_{\max}, H'_{\max} = \ln S \quad (3)$$

式中, S 为总种类数, N 为总个体数, P_i 为种的个体数占总个体数的比例, 为最大的种类多样性。

1.4.2 密度和生物量差异显著性分析 对盐沼演替序列三个阶段大型底栖动物群落的平均密度和平均生物量等先进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 若三个平均值间存在显著性差异, 用 SPSS12.0 进行差异显著性检验 (LSD 法多重比较)。

1.4.3 群落聚类与排序 原始丰度数据经四次方根转化及标准化后, 在 Bray-Curtis 相似性测量的基础上, 组合使用等级聚类分析 (Cluster) (采用组平均连接法) 和非度量多维标度排序 (MDS) 两种

技术, 以期更充分地展示各盐沼演替阶段大型底栖动物群落结构格局。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, 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 (Zhou & Zhang, 2003); 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。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: stress < 0.01, 结果是完全可信的; stress < 0.05, 可信的; stress < 0.1, 基本可信; stress < 0.2, 结果仍有参考价值, 但某些细节不可信; stress < 0.3, 结果几乎是任意的, 不可信 (Clarke & Gorbey, 2001)。上述各指数的计算以及 CLUSTER 和 MDS 分析皆使用 PRIMER 5.0 统计软件包完成。

2 结果与分析

2.1 种类及生活型组成

九段沙共记录到大型底栖动物 42 种, 隶属 4 门 7 纲 16 目 26 科 (表 1), 其中甲壳动物 21 种, 占 50.00%; 软体动物 12 种, 占 28.57%; 多毛类 6 种, 占 14.29%; 其他无脊椎动物 3 种, 占 7.14%。

从底栖动物种类组成可知 (图 2), 盐渍藻类阶段大型底栖动物有 14 种, 以软体动物 (7 种) 和甲壳动物 (6 种) 种类居多 (分别占这一演替阶段动物种总数的 50.00% 和 42.86%); 多毛类只有一种; 海三棱藨草—藨草阶段有 25 种; 甲壳动物蟹类占绝对优势 (13 种, 占该演替阶段总种数的 56.52%); 多毛类有 4 种, 在各演替阶段中是最多的; 芦苇—互花米草阶段有 18 种, 也以甲壳动物蟹类占优势 (8 种, 占此演替阶段物种总数的 44.44%), 值得注意的是, 在这一阶段出现了两种昆虫幼虫和一种纽虫。

各阶段生活型和生活类群数量特征见表 2。盐渍藻类阶段: 大型底栖动物群落以底内型的软体动物双壳类占优势, 包括河蚬 (*Corbicula fluminea*)、焦河蓝蛤 (*Potamocorbula ustulata*)、中国绿螂 (*Glaucomya chinensis*) 和缢蛏 (*Sinonovacula constricta*); 而物种数以游泳底栖型的甲壳动物居多, 无穴居型动物; 海三棱藨草—藨草阶段: 以穴居型

表 1 三个盐沼演替阶段大型底栖动物的种类、生活型组成及分布

Tab. 1 Species, life forms and distribution of macrobenthic fauna at the three salt marsh successional stages

种类 Species	演替阶段 Successional stages			生活型 Life form			
	SA	MT	AA	IN	CA	AD	SW
纽虫 <i>Nemertini</i> gen. sp.			+	*			
多鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys polybranchia</i>		+	+	*			
疣吻沙蚕 <i>Tylorrhynchus heterochaetus</i>		+	+	*			
圆锯齿吻沙蚕 <i>Dentinephtys galbra</i>	+			*			
丝异须虫 <i>Heteromastus filiforms</i>		+		*			
小头虫 <i>Capitella capitata</i>		+		*			
背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i>		+		*			
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	+++	+		*			
缢蛏 <i>Sinonovacula constricta</i>	++			*			
焦河蓝蛤 <i>Potamocorbula ustulata</i>	+++			*			
中国绿螂 <i>Glaucomya chinensis</i>	++	+		*			
近江牡蛎 <i>Crassostrea rivuaris</i>	+					*	
拟沼螺 <i>Assimiea</i> sp.		+++	+			*	
光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i>	+	++	+			*	
堇拟沼螺 <i>Assiminea violacea</i>			++			*	
绯拟沼螺 <i>A. latericea</i>			++			*	
梨形环棱螺 <i>Bellamya purificata</i>		+				*	
中华拟蟹守螺 <i>Cerithidea sinensis</i>			++			*	
泥螺 <i>Bullacta exarata</i>	++					*	
泥藤壶 <i>Balanus uliginosus</i>	+					*	
钩虾 <i>Gammarus</i> sp.	+						*
独眼钩虾 <i>Monoculodes</i> sp.	+						*
江湖独眼钩虾 <i>Monoculodes limnophilus</i>	+						*
中华螺赢蜚 <i>Corophium sinensis</i>	++						*
光背节鞭水虱 <i>Synidotea laevidorsalis</i>	+						*
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>		+					*
秀丽白虾 <i>E. modestus</i>		+					*
谭氏泥蟹 <i>Ilyrplax deschampsii</i>		+++	+		*		
天津厚蟹 <i>Helice tridens tientsinensis</i>		+	+++		*		
沈氏厚蟹 <i>H. tridens sheni</i>		+	+		*		
宽身大眼蟹 <i>Macrophthalmus dilatatus</i>		++	+		*		
中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>		+			*		
中华虎头蟹 <i>Orithyia sinica</i>		+			*		
无齿相手蟹 <i>Sesarma denaani</i>		++	+++		*		
红螯相手蟹 <i>S. haematocheir</i>		+	++		*		
豆形拳蟹 <i>Philyra pismus</i>		++			*		
隆线拳蟹 <i>P. carinata</i>		+			*		
隆线拟闭口蟹 <i>Paracleistostoma cristatum</i>		++			*		
弧边招潮 <i>Uca arcuata</i>		+	++		*		
锯缘青蟹 <i>Scylla serrata</i>			+		*		
双翅目幼虫 <i>Diptera</i>		+	++	*			
叶甲幼虫 <i>Chrysomeloidea</i>			++	*			
总计 Total	14	25	18				

SA: 九段沙盐渍藻类阶段; MT: 海三棱藨草—藨草阶段; AA: 芦苇—互花米草阶段; +: 个体数 < 总个体数的 1%; ++: 占总个体数的 1%—10%; +++: > 总个体数的 10%。

IN: 底内型; CA: 穴居型; AD: 底上附着型; SW: 游泳底栖型; * 表示该生活型出现。

SA, MT and AA stand for the saline algae stage, *Scirpus mariqueter*—*Scirpus triqueter* stage and *Phragmites australis*—*Spartina alterniflora* stage of Jiuduansha shoals respectively. +: individual number < 1% of the total; ++: between 1% – 10% of the total; +++: > 10% of the total.

IN, CA, AD, SW stand for the life forms of infaunal, caving, adhering and swimming respectively. * stands for the record of the life form.

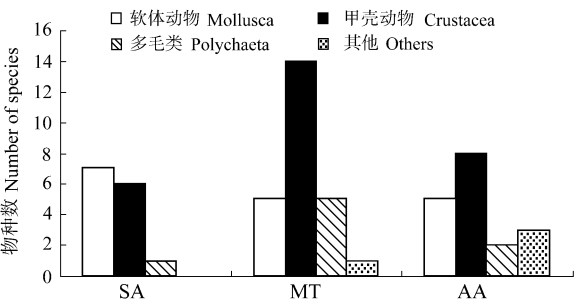


图 2 三个盐沼演替阶段大型底栖动物群落种类组成
Fig. 2 The species composition of macrobenthic fauna communities at three salt marsh successional stages
图中符号的含义同表 1 (For the meaning of the symbols see Tab. 1)。

的甲壳动物蟹类占绝对优势，游泳底栖型种类急剧减少，从 5 种减少到 2 种；芦苇—互花米草阶段也是穴居型的甲壳动物蟹类占优势，无游泳底栖型。各演替阶段物种数的 GS/GSB 值依次为 1.8、0.25、0.38，表明生活类群在两类高等维管束植物阶段与低等盐渍藻类阶段间存在很大差异，而在高等维管束植物阶段间则差异较小。

2.2 密度和生物量

盐沼演替序列三个阶段大型底栖动物群落的平均密度和平均生物量都表现为海三棱藨草—藨草阶段 > 芦苇—互花米草阶段 > 盐渍藻类阶段。三者间平均密度差异极显著 (One-way ANOVA, $P < 0.01$)，平均生物量 (湿重) 差异显著 (One-way ANOVA,

表 2 三个盐沼演替阶段大型底栖动物生活型和生活类群的数量特征
Tab. 2 Macrobenthic fauna life form and life group numbers at the three salt marsh successional stages

生活型和生活型组 Life forms and life groups		SA	MT	AA
生活型种数 Number of species for each life form	游泳底栖型 Swimming	5	2	0
	底上附着型 Adhering	4	3	5
	底内型 Infaunal	5	8	5
	穴居型 Caving	0	12	8
生活类群种数 Number of species for each life group	面上群 GS	9	5	5
	面下群 GSB	5	20	13
	GS/GSB	1.8	0.25	0.38

表中符号的含义同表 1 (For the meaning of the symbols see Tab. 1)。

$P < 0.05$)。平均密度在海三棱藨草—藨草阶段与盐渍藻类阶段、芦苇—互花米草阶段间都存在显著差异，而后两者间无显著差异；平均生物量则仅在海三棱藨草—藨草阶段与盐渍藻类阶段间存在显著差异 (表 3)。

2.3 不同植被带物种多样性

由表 4 可知，九段沙上、中、下三个沙洲大型底栖动物群落的 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数都是海三棱藨草—藨草阶段 > 芦苇—互花米草阶段 > 盐渍藻类阶段，Margalef 物种丰富度指数在三个沙洲不同演替阶段之间则没有统一的变化规律。盐渍藻类阶段物种数目最少，且优势种河蚬、焦河蓝蛤的优势度很高，其多样性最低；海三棱藨草—藨草阶段物种数目最多，并且优势种谭氏泥蟹 (*Ilyrplax deschampsii*)、拟沼螺 (*Assimiea* sp.) 的优势度特征不是非常突出，其多样性最高；芦苇—互花米草阶段的物种数目居中，优势种无齿相手蟹 (*Sesarma denaani*)、天津厚蟹 (*Helice tientsinensis*)

个体数种间分布较为集中，多样性水平也是居中的。由于三个沙洲各演替阶段间物种数及某些优势种的数目变动情况各异，相应 Margalef 物种丰富度指数值并不表现出统一的变化规律。

2.4 群落聚类与排序

聚类分析结果如图 3 所示：把 9 个站位分成了三个不同的组：a1、a2、a3；b2、b2、b3；c1、c2、c3 各为一组，分别属于上沙、中沙、下沙的盐渍藻类阶段、海三棱藨草—藨草阶段、芦苇—互花米草阶段。可见，各阶段的大型底栖动物群落可以区分开来，其中海三棱藨草—藨草阶段与芦苇—互花米草阶段之间相似性相对较高。

排序分析结果如图 4 所示：stess = 0.04 < 0.05，说明这一图形可以很好地解释样本间相似关系。这个结果支持聚类分析结果，也将三个沙洲相同演替阶段中的大型底栖动物群落分别划分到一个组内，而且在聚类分析中较为相似的海三棱藨草—藨草阶段和芦苇—互花米草阶段间的站位也能清楚地区分

开来,说明两者仍存在一定的差异。相比较而言,图上代表盐渍藻类阶段的三个站位的三个点间的距离最小,说明三个盐渍藻类阶段的大型底栖动物群落结构最相似。

表 3 三个盐沼演替阶段大型底栖动物的密度和生物量
Tab. 3 Densities and biomasses at the three salt marsh successional stages (M ± SD)

项目 Items	MT	AA	SA	n
密度 Density (ind·/m ²)	368.00 ± 209.84 ^a	160.00 ± 28.62 ^b	120.00 ± 62.99 ^b	6
生物量 Biomass (g/m ² fw)	43.17 ± 24.68 ^a	21.93 ± 16.50 ^{ab}	12.71 ± 9.13 ^b	6

平均值后字母不同表示两者差异达 0.05 显著水平 (LSD 法), *n* 样本容量。
Different letters after the mean value of the same item stands for significant difference at 0.05 level (LSD), *n* stands for sample size.

表 4 九段沙 3 个沙洲采样站位大型底栖动物的物种多样性
Tab. 4 Species diversity of the macrobenthic fauna communities at the three shoals of Jiuduansha

多样性指数 Diversity indices	采样站位 Sampling stations								
	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3
香农-维纳指数 Shannon-Wiener index	0.20	0.50	0.44	0.89	1.12	0.94	0.12	1.35	0.56
均匀度指数 Evenness index	0.19	0.36	0.22	0.40	0.49	0.41	0.06	0.61	0.25
丰富度指数 Richness index	0.36	0.61	0.95	1.36	1.46	1.32	0.97	1.81	1.15

表中符号的含义同表 1 (For the meaning of the symbols see Fig. 1)

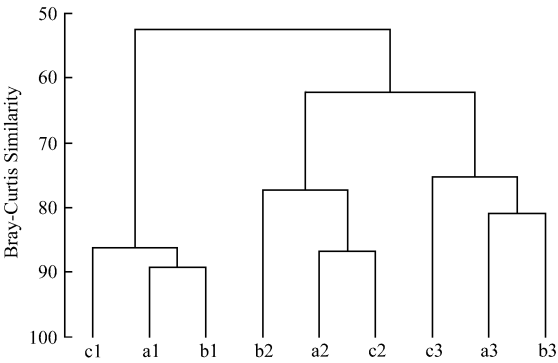


图 3 九个站位大型底栖动物群落的等级聚类

Fig. 3 Dendrogram for hierarchical clustering of the nine stations, using group-average linking from Bray-Curtis similarities on $\sqrt{\sqrt{\cdot}}$ -transformed abundances

图中符号的含义同图 1 (For the meaning of the symbols see Fig. 1)。

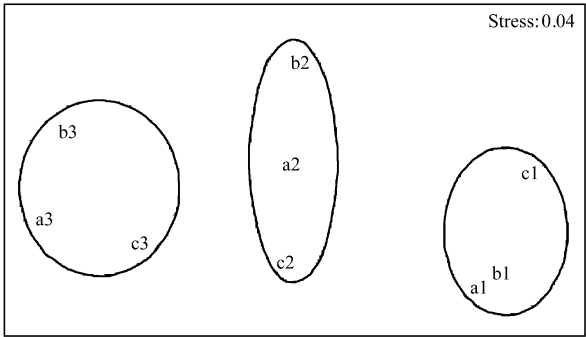


图 4 九个站位大型底栖动物群落非度量多维标度排序 (stress = 0.04)

Fig. 4 MDS ordination of the nine stations based on $\sqrt{\sqrt{\cdot}}$ -transformed abundances and Bray-Curtis similarities

图中符号的含义同图 1 (For the meaning of the symbols see Fig. 1)。

3 分析与讨论

演替先锋期盐渍藻类阶段大型底栖动物群落的种类最少,密度、生物量及多样性最低,并且种类组成与其他两种演替阶段动物群落差异大。等级聚类分析中,盐渍藻类阶段首先和其他两个具有维管束植物的演替阶段区分开来。低潮位的盐渍藻类阶段淹水时间最长,水流干扰最强烈,底质处于剧烈的扰动变化中,进而限制了腔肠动物、多毛类、棘皮动物等底栖动物类群的生存和发展 (Rhoads & Young, 1970),而适于滤食性的底内型类群 (河蚬

和焦河蓝蛤等)及游泳底栖型端足目种类 (钩虾、中华螺赢蜚) 生长,不适于底上附着型种类生活,而近江牡蛎、泥藤壶这两种附着性极强的动物是此带适应强浪冲击的特化种。盐渍藻类虽然可为营滤食性生活的双壳类等提供食物,但对影响底栖动物群落的组成、分布起主要作用的底质类型、波浪能 (Dethier & Schoch, 2000) 的影响并不明显。Cluster 及 MDS 分析结果均表明,在九个站位中,上、中、下三沙洲盐渍藻类阶段动物群落的相似性最高,这也反映了演替先锋阶段生境异质性较低的特点。

处于演替中间阶段的海三棱藨草—藨草阶段大

型底栖动物群落的种类最多, 密度、生物量及多样性最高。维管束植物海三棱藨草和藨草直接或间接通过改造环境进而影响动物群落的作用是明显的。直接作用是为底栖动物提供生境的复杂性 (Edgar & Robertson, 1992; Irlandi, 1995) 以及植株的地下根、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 (Capehart & Hackney, 1989) 等方面来影响底栖动物分布及多样性。间接作用一方面是通过减弱波浪能 (Frey & Banson, 1985; Yang, 1998) 使输运的沉积物变细 (Frey & Banson, 1985) 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 (Lana & Guiss, 1991)。生境的稳定性增强, 加上因高程的增加, 淹水时间缩短, 特别适于筑洞穴居型的蟹类生活, 底上附着型的拟沼螺也成为此阶段的优势种, 而游泳底栖型, 底内型种类明显减少。间接作用的另一个方面是使食物集中在动物可利用的区域里 (Peterson et al, 1984), 植株的地上部分为底栖动物提供了躲避捕食的避护所 (Irlandi, 1994) 进而影响底栖动物群落结构, 这对于底栖动物在河口高摄食强度压力下的生活是重要的。

Cluster 分析中, 盐渍藻类阶段的动物群落首先和其他两种维管束演替阶段内的群落区分开来, 反应了前者与后两者的生境存在明显的差异。GS/GSB 值在前者与后两者间差别悬殊, 也反映了这一点。海三棱藨草—藨草阶段和芦苇—互花米草阶段间大型底栖动物群落的差别, 虽然不及与盐渍藻类阶段间的差别大, 在 CLUSTER 图上表现出较高的相似性, 并且 GS/GSB 值在两者间也相差甚小, 但在 MDS 图上可以区分开来, 表明维管束植被带海

三棱藨草—藨草阶段和芦苇—互花米草阶段间的生境仅具有一定程度的连续性。两种分析技术的组合使用更充分地展示了不同盐沼演替阶段大型底栖动物群落结构。

盐沼演替较高阶段的芦苇—互花米草阶段大型底栖动物群落的种类、密度、生物量及多样性都处于中间水平。此带处于沙洲最高高程, 淹水时间最短, 仅在大潮时才会被完全淹没, 受潮汐作用最弱; 而芦苇—互花米草植株高度、地上与地下生物量最大, 进一步强化了其对生境的改造作用, 底质中开始有大量昆虫幼虫出现, 显示了向陆生群落演变的趋势。芦苇—互花米草根系发达, 地下生物量远大于藨草—海三棱藨草, 不但会抑制底内型的发展 (Talley & Levin, 1999), 表现在此阶段底内型的种数 (5 种) 少于藨草—海三棱藨草阶段 (8 种), 而且也可能限制穴居型的蟹类的掘穴活动, 结果致使此阶段蟹类的种数只有藨草—海三棱藨草阶段的三分之二 (分别为 8 种, 12 种), 这还有待于进一步分析和研究。

综上所述, 原生盐沼演替序列不同阶段大型底栖动物群落特征差异明显, 群落的这种分带现象既反应了非生物因子沿高程的梯度变化, 也显示了不同盐沼对底栖动物群落直接和间接作用的差异, 不同植被阶段内大型底栖动物生活型分析结果也证明了植被的作用, 同时也展示了各种大型底栖动物对不同盐沼生境的适应情况; 因此, 对于人为干扰下受损盐沼湿地的生态恢复, 必须考虑植被建设的阶段及其对底栖动物等生物类群的影响, 以达到系统恢复与建设的目的。

参考文献:

- Angradi TR, Hagan, Stacy M, Able KW. 2001. Vegetation type and the intertidal macroinvertebrate fauna of a brackish marsh: *Phragmites* vs. *Spartina* [J]. *Wetlands*, **21** (1): 75–92.
- Capehart AA, Hackney C. 1989. The potential role of roots and rhizomes in structuring salt marsh benthic communities [J]. *Estuaries*, **12**: 119–122.
- Clarke KR, Gorbey RN. 2001. PRIMER v5: User Manual/Tutorial [M]. Plymouth: PRIMER-E Ltd.
- Craft C, Sacco J. 2003. Long-term succession of benthic infauna communities on constructed *Spartina alterniflora* marshes [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, **257**: 45–58.
- Day JW, Hall CAS, Kemp WM, Yanez-Arancibia A. 1989. Estuarine Ecology [M]. New York: Wiley Interscience, 339–376.
- Dethier MN, Schoch GC. 2000. The Shoreline Biota of Puget Sound: Extending Spatial and Temporal Comparisons [R]. Report for the Washington State Department of Natural Resources, Nearshore Habitat Program, 5–8.
- Edgar GJ, Robertson AL. 1992. The influence of seagrass structure on the distribution and abundance of mobile epifauna: Patterns and process in a western Australian *Amphibolis* bed [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, **160**: 13–31.
- Fan HQ, He BY, Wei SQ. 2000. Influences of sand dune movement within the coastal mangrove stands on the macrobenthos *in situ* [J]. *Acta Ecol Sin*, **20** (5): 722–727. [范航清, 何斌源, 韦受庆. 2000. 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, **20** (5): 722–727.]
- Frey RW, Banson PB. 1985. Coastal salt marshes [A]. In: Davis RA. Coastal Sedimentary Environment [M]. New York: Springer-Verlag, 101–159.
- Irlandi EA. 1994. Large-scale and small-scale effects of habitat structure on rates of predation-how percent coverage of seagrass affects rates of predation and siphon nipping on and infaunal bivalve [J]. *Oecologia*, **98**: 176–183.
- Irlandi EA. 1995. Landscape ecology and the marine environment: How

- spatial configuration of seagrass habitat influences growth and survival of the bay scallop [J]. *Oikos*, **72**: 307–313.
- Lana P, Guiss C. 1991. Influence of *Spartina alterniflora* on structure and temporal variability of macrobenthic associations in a tidal flat of Paranagua Bay (southeastern Brazil) [J]. *MarEcol Prog Ser*, **73**: 231–244.
- Levin LA, Talley DM, Thayer G. 1996. Succession of macrobenthos in a created salt marsh [J]. *Mar Ecol Prog Series*, **141**: 67–82.
- Levin LA, Talley TS, Hewitt J. 1998. Macrobenthos of *Spartina foliosa* (Pacific Cordgrass) salt marshes in southern California: Community structure and comparison to a Pacific mudflat and a *Spartina alterniflora* (Atlantic Smooth Cordgrass) [J]. *Estuaries*, **21** (1): 129–144.
- Ludwig JA, Reynolds JF. 1988. Statistical Ecology [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Peterson CH, Summerson HC, Duncan PB. 1984. The influence of seagrass cover on population structure and individual growth rate of a suspension-feeding bivalve, *Mercenaria mercenaria* [J]. *J Mar Res*, **42**: 123–138.
- Rhoads DC, Young DK. 1970. The influence of deposit feeding organism on sediment stability and community trophic structure [J]. *J Mar Res*, **28**: 150–178.
- Talley TS, Levin LA. 1999. Macrofaunal succession and community structure in *Salicornia* marshes of southern California [J]. *Estuar CoasShelf Sci*, **49**: 713–731.
- Tang CJ, Lu JJ. 2003. Studies on plant community on the Jiuduansha Shoals at the Yangtze Estuary [J]. *Acta Ecol Sin*, **23** (2): 399–403. [唐承佳, 陆健健. 2003. 长江口九段沙植物群落研究. 生态学报, **23** (2): 399–403.]
- Yang DJ, Wang YL, Ma XT. 1996. Oceanic Invertebrates in North China [M]. Beijing: Higher Educational Press, 503–506. [杨德渐, 王永良, 马绣同. 1996. 中国北部海洋无脊椎动物. 北京: 高等教育出版社, 503–506.]
- Yang SL. 1998. The role of *Scirpus* marsh in attenuation of hydrodynamics and retention of sediment in the Yangtze Estuary [J]. *Estuar Coas Shelf Sci*, **47**: 227–233.
- Yuan XZ, Lu JJ, Liu H. 2002a. Influence of characteristics of *Scirpus mariqueter* community on the benthic Macro-invertebrate in a salt marsh of the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ecol Sin*, **22** (3): 326–333. [袁兴中, 陆健健, 刘红. 2002a. 河口盐沼植物对大型底栖动物群落的影响. 生态学报, **22** (3): 326–333.]
- Yuan XZ, Lu JJ, Liu H. 2002b. Community structure and biodiversity characteristics of macrobenthos in the new shoal of the Changjiang Estuary [J]. *Acta Oceanolo Sin*, **24** (2): 133–139. [袁兴中, 陆健健, 刘红. 2002b. 长江口新生沙洲底栖动物群落组成及多样性特征. 海洋学报, **24** (2): 133–139.]
- Zhou H, Zhang ZN. 2003. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology [J]. *J Ocean Univ Qingdao*, **33** (1): 058–064. [周红, 张志南. 2003. 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, **33** (1): 058–064.]

本刊编委桂建芳研究员简介

桂建芳, 男, 1956 年 6 月出生, 理学博士, 中国科学院水生生物研究所研究员、博士生导师、所长, 淡水生态与生物技术国家重点实验室主任; 中国水产学会副理事长, 湖北省遗传学会和湖北省生物工程学会副理事长, 中国鱼类学会理事, 中国遗传学会理事; 《水生生物学报》主编, *Cell Research*、*Pakistan Journal of Zoology*、《实验生物学报》、《遗传学报》、《遗传》、《动物学研究》、《海洋与湖泊》、《中国水产科学》编委; 国家科学技术部 973 计划“重要养殖鱼类品种改良的遗传和发育基础研究”项目首席科学家; 国家水产原良种审定委员会副主任。

主要从事与鱼类育种生物技术相关的遗传、细胞和发育生物学研究。已在 *Nature*, *PNAS*, *Gene*, *J. Mol. Evol.*, *Dev. Biol.*, *Mol. Biol. Evol.*, *Aquaculture*, *J. Fish Biol.*, 《中国科学》和《科学通报》等国内外核心刊物上发表研究论文 180 多篇。其中 SCI 论文 60 多篇, 被 SCI 引用 700 多次。出版论著 5 部。

作为主持人获湖北省自然科学奖一等奖 1 项 (2003 年), 湖北省科学技术进步奖二等奖 1 项 (2005 年), 中国科学院自然科学奖三等奖 1 项 (1995 年), 国家“八五”科技攻关重大成果奖 1 项 (1996 年); 作为第二完成人获湖北省自然科学奖二等奖 1 项 (2004 年), 参与完成的成果获国家自然科学奖二等奖 1 项 (1995 年)。授权专利 4 项, 另申报专利 5 项。1988 获中国青年科技奖, 1989 年获中国科学院青年科学家奖二等奖, 1990 年获湖北省青年科技精英称号, 1994 年获国家杰出青年科学基金资助, 1995 年获中国科学院青年科学家奖一等奖, 1996 年获香港求是科技基金会杰出青年学者奖, 1997 年入选国家百千万人才工程, 1998 年获中国科学院优秀研究生导师奖, 1998 年获中国科学院有突出贡献的中青年专家称号, 2003 年获中国科学院优秀研究生导师奖, 2003 年获湖北省“五一劳动奖章”, 2004 年获湖北省“劳动模范”, 2004 年获科技部国家重点实验室计划先进个人等荣誉称号。

近期的主要研究方向为鱼类发育遗传学和遗传育种工程。研究工作主要集中在两个方面, 一是在鱼类生殖、生长和免疫相关基因的鉴定方面, 试图揭示鱼类雌核发育和卵子发生的调控机理, 阐述鱼类早期胚胎发育过程中基因的时空表达, 鉴别鱼类抗病基因; 二是在水产动物分子遗传标记的鉴定和应用方面, 试图找到用于区分水产动物不同种群或不同品系的分子标记, 并将其应用于生态遗传和遗传育种研究。此外, 还致力于鱼类细胞工程技术研究, 如细胞培养和基因组操作等。