动物学报 52(4):800－809，2006
Acta Zoologica Sinica

围垦滩涂潮沟秋季大型底栖动物群落和生态位分析*

胡知渊 鲍毅新** 葛宝明 李欢欢
浙江师范大学生态研究所，浙江 金华 321004

Macrobenthic community and niche analysis of creeks during autumn in diked tidal flat*

HU Zhi-Yuan，BAO Yi-Xin**，GE Bao-Ming，LI Huan-Huan
Institute of Ecology，Zhejiang Normal University，Jinhua 321004，Zhejiang，China

Abstract In Nov. 2005，the macrobenthic community and niche analysis at creeks in three diked tidal flats were studied at Lingkun Island，Wenzhou City，Zhejiang Province. The result revealed 31 species belonging to 19 families，7 classes and 6 phyla most of which were gastropoda，lamellibranchia，crustacea and polychaeta. In the different habitats of the creeks（the grass flat，the bank of creek and the bottom of the creek），the composition and abundance of the macrobenthic differed. There were 16 species in the grass flat，21 species in the bank of the creek and 13 species at the bottom of creek. The macrobenthic structure and life forms of the creeks were different in these three habitats，and showed that the creeks changed regularly with the environment factors. In general，the Margalef's species diversity index：BaC > BoC > GF；the Shannon-Wiener's index：BaC > Boc > GF；the Pielou's index：BoC > BaC > GF；the Simpson's index：GF > BaC > BoC. The analysis of the niche breadth and niche overlap showed that these two were closed related to the distribution and density of the species，which revealed that the niche breadth and the niche overlaps reflect the species distribution，the abundance and the species ability of utilizing the environmental resource. Combined with the data of the four times extraction of the density of macrobenthic species，using the Hierarchical Cluster of between-groups linkage method and the Non-matric Multidimentional Scaling method，these species could be assigned to several groups［*Acta Zoologica Sinica* 52（4）：800－809，2006］.
Key words Tidal flat，Creek，Niche，Hierarchical cluster，Ordination

关键词 潮沟 大型底栖动物 生态位 系统聚类 排序

生态位理论是生态学中重要的基础理论之一，在种间关系、群落结构、种的多样性及种群进化研究中已被广泛应用。自 1910 年 Johnson 首次使用生态位一词以来，生态位这一概念一直受到生物学家的普遍关注，尤其是进入 20 世纪 90 年代后，随着生态学学科的发展，生物学家对生态位这一理论的研究工作也给予了充分的重视（Leibold，1995）。生态位理论在动物学研究方面多应用于对昆虫和鸟类群落的研究中（Albrecht and Gotelli，2001；刘新民等，2002），对于滩涂潮沟底栖动物群落物种生态位研究则罕见报道。

滩涂是湿地系统的重要组成部分，孕育和维持着许多底栖动物，同时也是许多濒危鸟类、候鸟的繁殖栖息地。浙江省沿海滩涂在我国沿海滩涂湿地资源中占有重要地位，是世界濒危物种黑嘴鸥（*Larus saundersi*）和极危物种黑脸琵鹭（*Platalea ninor*）最重要的越冬地与迁徙停歇地（刘安兴等，2001），也是其他大量湿地水鸟的重要栖息地。在

2006-03-06 收稿，2006-05-16 接受
* 浙江省自然科学基金资助重大项目（No.ZE0204）［This research was funded by the Natural Science Foundation of Zhejiang Province（No.ZE0204）］
** 通讯作者（Corresponding author）. E-mail：sky90@zjnu.cn
© 2006 动物学报 *Acta Zoologica Sinica*

自然状态下的滩涂上，潮沟是淤泥质滩涂最为显著的一级地貌单元，主要分布于潮间带上部，对潮滩各潮带之间的物种交流起着重要的作用，所以潮沟内物种相对较为丰富，对整个滩涂湿地的生物多样性有重要意义。围垦后，保留下来的潮沟主要用于水产养殖时换水。和自然状态下一样，围垦滩涂潮沟里的水每天也有潮涨潮落的现象，从外部形态可以明显的分辨出“潮沟底（Bottom of creek，BoC）－潮沟边滩（Bank of creek，BaC）－植被覆盖的草滩（Grass flat，GF）”的环境梯度变化（葛宝明等，2005a）。以前对底栖动物的研究，多见于在群落结构、生物量、密度以及底栖动物生活型和功能型的探讨等方面（周时强等，2001；杨俊毅，2004）。鉴于此，我们在中国重要湿地温州灵昆岛开展围垦滩涂潮沟大型底栖动物群落生态学研究（葛宝明等，2005a）和潮间带大型底栖动物群落结构与生态位分析（葛宝明等，2005b）的基础上，于 2005 年 11 月对其围垦区内 3 条潮沟进行大型底栖动物的群落调查和生态位分析。

1　研究方法

1.1　采样地概况

浙江温州灵昆岛位于瓯江入海口，亚热带气候，潮汐为非正规半日浅海潮，平均盐度 10‰－30‰。灵昆围垦滩涂中所选取的 3 条潮沟，位于地理坐标 27°51′N，120°50′E 附近，均大致呈东北－西南走向，无淡水源，3 条潮沟所取样点都距入海口 600 m 左右。滩涂的围垦年份分别为 1987 年（TF87），1992（TF92）年和 1997（TF97）年。3 条潮沟的间隔约为 1 km 左右，其中 1987 年围垦潮沟长约 3 km，宽约 35 m；1992 年围垦潮沟长约 4 km，宽约 40 m；1997 年围垦滩涂潮沟长约 5.5 km，宽度约 45 m；3 条潮沟的两侧边滩均为无植物生长的光泥滩，边滩均充分发育，潮沟两侧以外是布满互花米草（*Spartina alterniflora*）的滩地（即本研究中所称的草滩）。

1.2　取样方法

分别在 1987 年、1992 年和 1997 年围垦滩涂保留的潮沟的草滩、边滩和潮沟底设置样地，共 9 个采样点。在最低潮时，用自制 33 cm×30 cm×20 cm 的铁质 0.1 m^2 采样器采集泥样，采样深度为 20 cm。每个样地采集 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。具体处理参考《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》（1986）的操作规范及袁兴中（2001b）等人的具体操作流程。

1.3　生活型的划分

生活型是生物适应不同环境或相同环境，在长期的进化过程中而表现出来的外部形态特征、生活习性等相异或相同，研究种群的生活型对了解生物群落结构及分析种间关系有重要意义。底栖动物生活型按底上型和底内型划分（范航清等，2000；杨德渐等，1996）。同时根据底栖动物相对于底表面的栖息位置再进行具体划分，将上述生活型分为 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）面下生活类群（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。

1.4　数据分析

1）Shannon-Wiener 生态位宽度指数：

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

2）Pianka 的生态位重叠值指数：

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^{N} P_{ij} \cdot P_{kj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{N} P_{ij}^2 \cdot \sum_{j=1}^{N} P_{kj}^2}}$$

3）种间距离欧氏距离（Euclidean distance）：

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

4）Marglef 种类丰度指数：

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

5）Shannon-Wiener 多样性指数：

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

6）Pielou 均匀度指数：

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

7）Simpson 优势度指数：

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

其中 P_{ij} 和 P_{kj} 为种 i、k 的个体数占 j 样地个体数的比例，用小数表示；P_{ij} 为种 i 的个体数占 j 样地总个体数的比例；O_{ik} 的取值范围是 0－1；S 为样地定量调查获得的总物种数；X_{ij} 和 X_{ik} 分别为 i 物种在 j、k 样地中密度 Y_{ij} 与 Y_{ik} 的 4 次方根。在群落的生物多样性指数中，S 和 N 分别为群落定

量取样获得的物种数和密度，P_i 为调查群落中种 i 的个体数的比例。

2 结 果

2.1 种类组成

调查共发现大型底栖动物31种，隶属于6门7纲19科，其中草滩16种，边滩21种，潮沟底13种（表1）。

2.2 生活型划分

不同生境大型底栖动物群落生活型物种数见表2。根据表1和表2可知，草滩是以底上附着种类（主要是短拟沼螺、绯拟沼螺、尖锥拟蟹守螺）和穴居大型蟹类（泥蟹和弧边招潮）占优势的底栖动物群落，草滩上没有发现底内潜穴型的物种。潮沟边滩则相对复杂，既有一定数量的底上附着种类（主要是短拟沼螺、绯拟沼螺、尖锥拟蟹守螺等）

表1 调查发现的大型底栖动物

Table 1 Macrobenthic species found in the investigation

门 Phyla	纲 Class	科 Family	种 Specie
软体动物门 Mollusca	腹足纲 Gastropoda	拟沼螺科 Assmineidae	短拟沼螺 *Assiminea brevicula*
			绯拟沼螺 *A. latericera*
		汇螺科 Potamididae	珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata*
			尖锥拟蟹守螺 *C. largillierti*
		滨螺科 Littorinidae	粗糙滨螺 *Littorna scabra*
		狭口螺科 Stenothyridae	光滑狭口螺 *Stenothyra glabra*
		阿地螺科 Atyidae	泥螺 *Bullacta exarata*
	瓣鳃纲 Lamellibranchia	竹蛏科 Solenidae	缢蛏 *Sinonovacula constricta*
		蓝蛤科 Corbulidae	焦河蓝蛤 *Potamocorbula ustulata*
		樱蛤科 Tellinidae	彩虹明樱蛤 *Moerella iridescen*
节肢动物门 Arthropoda	甲壳纲 Crustacea	方蟹科 Grapsidae	沈氏厚蟹 *Helice sheni*
			伍氏厚蟹 *H. wuana*
			红螯相手蟹 *Sesarma haematocheir*
			中华绒螯蟹 *Eriochier sinensis*
			沈氏长方蟹 *Metaplax sheni*
			日本大眼蟹 *Macrophthalmus japonicus*
		沙蟹科 Ocypodidae	弧边招潮 *Uca arcuata*
			泥蟹 *Ilyoplax* sp.
		玉蟹科 Leucosiidae	豆形拳蟹 *Philyra pisum*
			橄榄拳蟹 *P. olivacea*
		鼓虾科 Alpheidae	日本鼓虾 *Alpheus japonicus*
		长臂虾科 Palaemonidae	秀丽白虾 *Exopalaemon modestus*
环节动物门 Annelida	多毛纲 Polychaeta	齿吻沙蚕科 Nephtyidae	齿吻沙蚕 *Nephthys caeac*
		吻沙蚕科 Glyceridae	长吻沙蚕 *Glycera chirori*
		沙蚕科 Nereidae	日本刺沙蚕 *Neanthes japonica*
			日本沙蚕 *Nereis japonica*
			疣吻沙蚕 *Tylorrhynchus heterochaeta*
纽虫动物门 Nemertina			纽虫 Nemertean
线形动物门 Nemathelminthes			线虫 Eelworm
脊索动物门 Chordata	硬骨鱼纲 Osteichthyes	弹涂鱼科 Periphthalmidae	青弹涂鱼 *Scartelaos virids*
			大弹涂鱼 *Boleophthalmus pectinirostris*

和穴居大型蟹类（泥蟹、弧边招潮和伍氏厚蟹等），也有底内潜穴种类（如软体动物双壳类以及纽虫、环节动物多毛类）。潮沟底则是以底内潜穴种类（如齿吻沙蚕、日本沙蚕、线虫、纽虫）和游泳型种类（青弹涂鱼等）为主的大型底栖动物群落。其中 GS/GSB 比值反映了潮沟中不同生境对 2 大类不同生活类型底栖动物数量分布的影响。

2.3　密度及生态位宽度

对定量取样得到的大型底栖动物密度以及通过运算得到的生态位宽度见表3。从表3可以看出大

表 2　潮沟不同生境大型底栖动物群落生活类群和生活型物种数分析表

Table 2　Life groups and life forms on species of the macrobenthic community in various habitats

生活群 Life groups	生活类型 Life forms	物种数量 Numbers of species		
		草滩（GF） Grass flat	边滩（BaC） Bank of creek	潮沟底（BoC） Bottom of creek
面上群 Group of surface（GS）	底上运动迟缓型 Slowly moving	8	5	0
	游泳型 Swimming	1	2	4
小计 Subtotal		9	7	4
面下群 Group of surface below（GSB）	潜穴型 Infaunal	0	6	6
	穴居型 Caving	7	8	3
小计 Subtotal		7	14	9
总计 Total		16	21	13
GS/GSB		1.29	0.50	0.44

表 3　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 3　Density characters of quantitative sampling and the niche breadths of the macrobenthos species

种类 Specie	种名代码 Species' codes	TF87			TF92			TF97			总计 Total	百分数 Percent	生态位宽度 Niche breadth
		GF	BaC	BoC	GF	BaC	BoC	GF	BaC	BoC			
短拟沼螺 *A. brevicula*	S1	40	60	0	40	60	0	76	68	0	344	35.871	2.178
日本沙蚕 *N. japonica*	S2	0	20	12	0	24	10	0	32	16	114	11.887	1.956
绯拟沼螺 *A. latericera*	S3	16	12	0	28	12	0	12	8	0	88	9.176	1.394
弧边招潮 *U. arcuata*	S4	8	16	0	10	16	0	10	24	0	84	8.759	1.352
泥蟹 *Ilyoplax* sp.	S5	10	16	0	6	14	0	16	16	0	78	8.133	1.309
尖锥拟蟹守螺 *C. largillierti*	S6	14	0	0	24	0	0	16	12	0	66	6.882	1.023
纽虫 Nemertean	S7	0	10	4	0	6	4	0	8	8	40	4.171	1.251
青弹涂鱼 *S. virids*	S8	0	2	4	0	4	6	6	8	6	36	3.754	1.230
伍氏厚蟹 *H. wuana*	S9	2	0	0	0	8	0	10	6	0	26	2.711	0.526
线虫 Eelworm	S10	0	0	6	0	0	6	0	0	6	18	1.877	0.868
中华绒螯蟹 *E. sinensis*	S11	0	2	4	0	2	4	0	0	4	16	1.668	0.827
红螯相手蟹 *S. haematocheir*	S12	0	0	0	4	2	0	5	3	0	14	1.460	0.350
焦河蓝蛤 *P. ustulata*	S13	0	0	0	0	0	4	0	0	6	10	1.043	0.491
珠带拟蟹守螺 *C. cingulata*	S14	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	0.626	0.124
齿吻沙蚕 *N. caeac*	S15	0	0	0	0	0	4	0	0	2	6	0.626	0.366
彩虹明樱蛤 *M. iridescen*	S16	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0.417	0.082
沈氏长方蟹 *M. sheni*	S17	0	0	0	1	0	0	2	0	0	3	0.313	0.096
粗糙滨螺 *L. scabra*	S18	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0.209	0.070
日本大眼蟹 *M. japonicus*	S19	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0.209	0.129
沈氏厚蟹 *H. sheni*	S20	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0.209	0.061
总计 Total		90	140	30	115	148	38	159	189	50	959	100	

型底栖动物群落结构从边滩、草滩的比较复杂到潮沟底的简单。在本研究中，短拟沼螺、日本沙蚕具有较宽的生态位，均大于1.900，且具有较高的个体百分数。其他的物种可分为3类：（1）出现的位点在6个及以上，其数量比短拟沼螺、日本沙蚕要少，故生态位宽度相应要小一点，但仍在1.200以上，如绯拟沼螺、弧边招潮、泥蟹、纽虫、青弹涂鱼。其中青弹涂鱼数量较少，但由于其占据了7个生态位点，仍具有较高的生态位宽度；（2）种群密度较低或占据位点较少（2－5个），生态位宽度在0.300至1.100之间；属于此类的物种较多，如尖锥拟蟹守螺、伍氏厚蟹、线虫、中华绒螯蟹、齿吻沙蚕、焦河蓝蛤、红螯相手蟹；值得注意的是尖锥拟蟹守螺虽然在数量上比纽虫、青弹涂鱼要多，但由于其占据的位点只有4个，使其生态位宽度也比这两者小；（3）无论在数量上还是所占据生态位点（1个或2个）都较少，故其生态位宽度也最小（小于0.130），如珠带拟蟹守螺、彩虹明樱蛤、沈氏长方蟹、粗糙滨螺、日本大眼蟹、沈氏厚蟹；其中珠带拟蟹守螺虽然在数量上和齿吻沙蚕一样，但由于其只占据了1个生态位点，其生态位宽度小了很多。

2.4 生态位重叠值

采用Pianka的重叠指数计算得到的定量取样分析中的20个物种的生态位重叠值如表4，生态位重叠值大小与两个物种各自分布的位点和分布的数量相似程度呈正相关。

表4 物种生态位重叠值

Table 4 Niche overlap among the species

物种 Species	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19
S2	0.291																		
S3	0.839	0.152																	
S4	0.959	0.353	0.796																
S5	0.989	0.309	0.781	0.957															
S6	0.734	0.059	0.923	0.660	0.655														
S7	0.245	0.975	0.133	0.290	0.266	0.037													
S8	0.201	0.930	0.097	0.202	0.201	0.091	0.924												
S9	0.791	0.242	0.469	0.703	0.780	0.451	0.154	0.229											
S10	0.000	0.890	0.000	0.000	0.000	0.000	0.882	0.946	0.000										
S11	0.061	0.920	0.037	0.067	0.066	0.000	0.911	0.953	0.042	0.995									
S12	0.738	0.149	0.730	0.673	0.637	0.779	0.095	0.175	0.685	0.000	0.020								
S13	0.000	0.649	0.000	0.000	0.000	0.000	0.755	0.785	0.000	0.690	0.685	0.000							
S14	0.472	0.000	0.224	0.257	0.433	0.353	0.000	0.154	0.688	0.000	0.000	0.604	0.000						
S15	0.000	0.564	0.000	0.000	0.000	0.000	0.618	0.769	0.000	0.676	0.670	0.000	0.882	0.000					
S16	0.356	0.265	0.125	0.517	0.365	0.220	0.167	0.170	0.350	0.000	0.000	0.312	0.000	0.000	0.000				
S17	0.584	0.000	0.596	0.413	0.483	0.706	0.000	0.126	0.566	0.000	0.000	0.885	0.000	0.828	0.000	0.000			
S18	0.344	0.000	0.724	0.354	0.223	0.730	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.682	0.000	0.000	0.000	0.000	0.589		
S19	0.000	0.502	0.000	0.000	0.000	0.000	0.637	0.485	0.000	0.426	0.424	0.000	0.752	0.000	0.355	0.000	0.000	0.000	
S20	0.424	0.224	0.256	0.464	0.489	0.000	0.283	0.057	0.000	0.000	0.074	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

种名代码见表3。The species' codes reference to Tab.3.

2.5 多样性指数

群落生物多样性指数（Margalef指数 S、Shannon-Weiner指数 H'、Pielou指数 J、Simpson指数D）见表5，可以看出，物种丰度指数 S 和物种多样性指数 H' 的总趋势按照生境排序为BaC > BoC > GF，并随着围垦后时间的增加，S 和 H' 有逐渐减小的趋势。图1是按照不同生境类型多样性指数平均值作图得到的，从总体上反映了不同生境

大型底栖动物群落生物多样性变化情况，通过图 1 可以看出生物多样性的大小顺序为：Margalef 物种丰度指数：BaC > BoC > GF；Shannon-Wiener 多样性指数：BaC > Boc > GF；Pielou 均匀度指数：BoC > BaC > GF；Simpson 优势度指数：GF > BaC > BoC。

表 5　不同年份围垦潮沟各站位大型底栖动物群落多样性指数

Table 5　Diversity indices of macrobenthic communities

	Margalef 指数 S			Shannon-Weiner 指数 H'			Pielou 指数 J			Simpson 指数 D		
	GF	BaC	BoC	GF	BaC	BoC	GF	BaC	BoC	GF	BaC	BoC
TF87	1.111	1.619	1.176	1.501	1.718	1.494	0.838	0.782	0.928	0.274	0.243	0.253
TF92	1.475	1.801	1.649	1.633	1.830	1.882	0.785	0.795	0.967	0.236	0.224	0.163
TF97	1.776	1.908	1.789	1.769	1.973	1.881	0.768	0.823	0.905	0.266	0.193	0.181

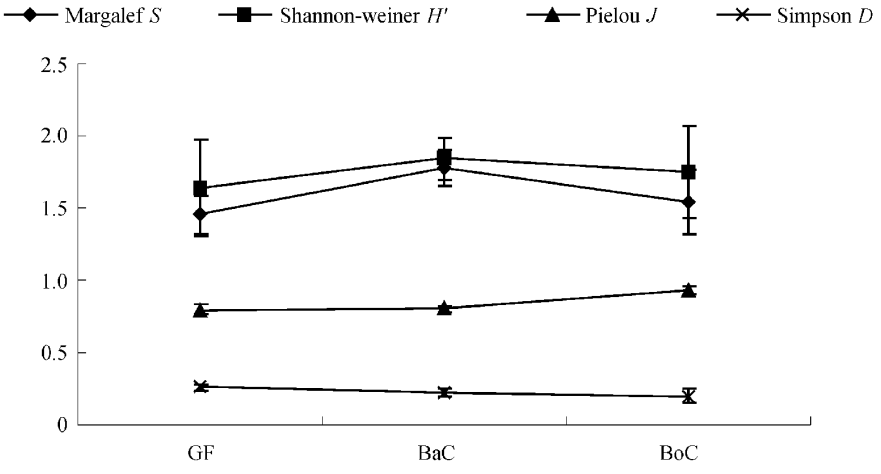

图 1　3 种生境大型底栖动物群落多样性指数

Fig.1　Diversity indices of macrobenthic communities in different habitats

2.6　物种聚类和排序

本文以密度数据 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，其结果如下（图 2 和图 3，Stress = 0.06225 < 0.1，说明吻合较好）。

通过物种聚类和排序，可以将定量取样获得的 20 个物种分为 4 大类。第一类（Group 1）包括短拟沼螺（S1）、绯拟沼螺（S3）、弧边招潮（S4）和泥蟹（S5），这些物种的生态位宽度较大，它们数量较多，出现的频率也较高，均为 6 个位点，且都分布在草滩和边滩，可以称为草、边滩广布种。第二类（Group 2）物种和第一类物种在分布上有相似之处，都是分布在草滩和边滩的物种，但是这类物种出现的位点只有 4 个，或在某两条潮沟的草滩、边滩没出现，如尖锥拟蟹守螺（S6）和伍氏厚蟹（S9）；或在某条潮沟的草滩和边滩没有出现，如红螯相手蟹（S12）。而且在数量上也远不及第一类物种，所以在物种聚类和排序图中，这类物种能独立出来，可以称为草、边滩常见种。第三类（Group 3）总体上是一些分布于某一位点的物种或者是分布某几个位点但个体百分比较小的物种，如珠带拟蟹守螺（S14）、彩虹明樱蛤（S16）、沈氏长方蟹（S17）等，这类物种可以称为罕见种，但是在物种种类数量上，这类物种是最多的。第四类（Group 4）物种包括日本沙蚕（S2）、纽虫（S7）、青弹涂鱼（S8），这类物种的数量也较多，并且在边滩和潮沟底都有分布，分布的位点在 6 个或 7 个，可以称这类物种为边滩、潮沟底常见种。

3　讨　论

3.1　群落结构

围垦后，由于水文条件和土壤理化性质的逐渐改变以及人为的直接干扰对大型底栖动物的群落结构产生了很大的影响（袁兴中等，2001a；葛宝明，2005a）。围垦导致了潮沟内泥沙淤积，使得其地势

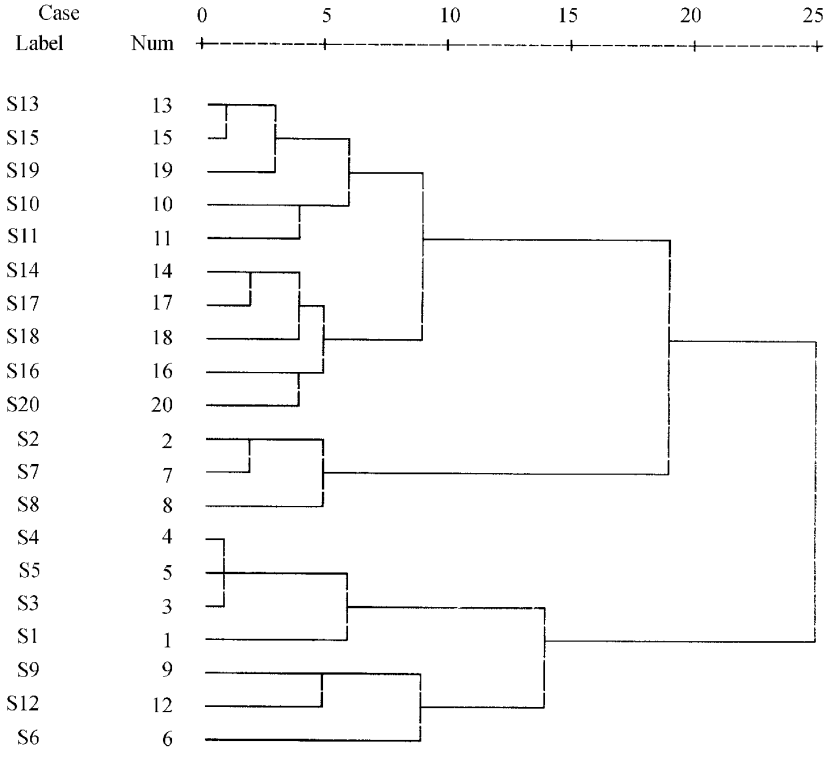

图 **2** 以种间欧氏距离为基础的物种系统类图

种名代码见表 3。

Fig. 2 Hierarchical cluster dendrogram of macrobenthic species base on the Euclidean distance

Species' codes reference to Table 3.

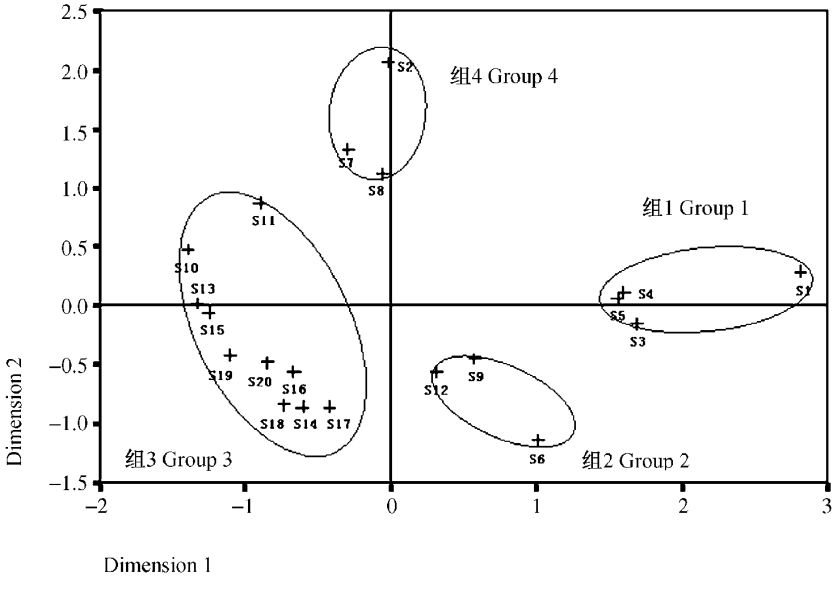

图 **3** 物种非度量多位标度排序图

种名代码见表 3。

Fig. 3 The 2-dimentional MDS ordinal configuration of macrobenthic species

The species' codes reference to Table 3.

逐年抬高，潮水水位则逐年降低，再加上周边植被（主要是互花米草）的侵入，整个潮沟的生态环境发生了很大的变化，出现了草滩、边滩和潮沟底 3 种不同的生境。在这 3 种生境中，底栖动物群落各有特点，并呈现出一定的规律变化。在草滩上，大部分地方都被互花米草所覆盖，同时也有一小部分裸露的光滩，生境的异质性相对较高，底栖动物的种类相对较为丰富，多为底上附着型（包括软体动物腹足纲）和穴居型（甲壳纲蟹类）种类。草滩上没有出现底内潜穴型（包括环节动物门多毛类和软体动物门瓣鳃纲类、纽虫、线虫）动物，这是由草滩土壤底质的特点决定的。因为生长有互花米草，而且按潮位分，草滩属于高潮位，一年中受到潮水的冲击和浸没的时间很少，其土壤硬度较大，板结程度高，互花米草的根又交结在一起，这种环境不适合底内潜穴型动物的生存，然而这相对稳定的环境却使得运动迟缓的动物大量繁殖。潮沟底是生物种类最少的地方，并且缺少运动迟缓型动物，这是由于潮沟底的生境在一天变化较大，要经 2 次涨潮和退潮，受到潮水的冲击和干扰，不利于那些依靠吸附而存在的运动迟缓型动物。边滩介于草滩和潮沟底之间，生境更为复杂，可以分为 3 个亚带，第一个亚带与草滩接壤，有些地方有稀疏的互花米草分布，这增加了生境的异质性，使得很多底上附着型和穴居型种类在此生长，它们的密度甚至比在草滩要更高。第三亚带与潮沟底连接在一起，一天中浸没在水中的时间也相当多，底质的淤泥层相比草滩和边滩第一亚带要厚得多，于是出现了纽虫、日本沙蚕和彩虹明樱蛤这类生物，其中边滩中日本沙蚕的密度比在潮沟底要高很多（见表 2）。在第二亚带上既没有互花米草的生长，一般的小高潮也浸没不了，生物数量相对较少，但在边滩分布的大部分物种在此亚带却都有发现，只是出现的频度不高。这 3 个亚带的梯度变化在 1997 围垦潮沟最明显，因为这条潮沟比较宽，边滩的范围也较大，互花米草一部分还在入侵阶段，生境异质程度高。整个边滩可以被看作一个生态交错区，边滩物种丰富是边缘效应的体现，其中如水深、盐度、基质、温度和营养水平等环境梯度的变化对生物分布产生直接影响（Likens and Bormann，1974；Naiman and Decamps，1990）。出现这一生态系列反映了潮沟中各生境的大型底栖动物随着环境因子梯度变化而呈现出有规律的变化，反映出生物对环境的适应性。

3.2　生态位

生态位宽度可以反映生物利用环境资源的多样化水平或特化水平（谭永钦等，2004），即物种对环境资源利用能力的强弱。大部分底栖动物经过一个春季和夏季的繁殖和生长，秋季的物种种类较为丰富，处在一个生物量和物种数的高峰期，在这个时候进行生态位分析，比较合理。而在繁殖期占大多数的往往是许多双壳类的幼体，优势地位太大（Lin，2005），很难进行准确的多样性分析。通过本文研究发现，生态位宽度大的物种其分布广，数量也较大；生态位宽度小的物种，其分布狭小，且数量也较小。其中的尖锥拟蟹守螺数量和珠带拟蟹守螺的数量比一些种类大，但由于其分布的位点较少，最终生态位宽度也较小。再如短拟沼螺、绯拟沼螺、弧边招潮、泥蟹所分布的位点完全一样，但由于在数量上短拟沼螺＞绯拟沼螺＞弧边招潮＞泥蟹，最终生态位宽度也是短拟沼螺＞绯拟沼螺＞弧边招潮＞泥蟹，由此可判断生态位宽度的大小反映了物种的分布和数量。只有那些数量较多，占据资源位点较多的生物，它们的生态位宽度才较高，这也反映出它们能够适应更多的生境、利用更多的资源。而生态位重叠值反映的是生物之间利用生境资源的相似性，主要与物种分布的环境位点的重合情况密切相关。如短拟沼螺与泥蟹，其分布的生态位点完全一样，它们之间的生态位重叠值达 0.989。由于本研究是在水平分布上的生态位测定，因此生态位重叠值较大的物种之间并不代表存在激烈竞争，这些物种在食性、生活型等方面存在一定的差异（葛宝明等，2005b），在群落中有不同的生态功能和位置，所以这些物种可以很好的共存。对于那些分布数量较少、分布位点也较少的物种（如齿吻沙蚕、彩虹明樱蛤、沈氏长方蟹、粗糙滨螺、沈氏厚蟹、日本大眼蟹），它们之间的生态位重叠值变化很大，这主要由分布的位点是否相同所决定。如果两个物种之间的生态位重叠值为 0，这说明它们没有同时分布在一个位点，占据的资源位点完全不同。

3.3　多样性

在围垦潮沟的 3 类生境中，多样性指数的变化也呈现出一定的规律性。Margalef 指数 S、Shannon-Weiner 指数 H' 在空间尺度上绝大多数为边滩最高，这反映出边滩作为一个生态交错区，环境异质的分化程度较高，生活的物种的种类和数量都较多，使得物种多样性程度也较高（Bell et al.，

1978；Webster，1998），这符合生态学的规律。而潮沟底无论在生物种类上还是在生物数量上都是最少的，但 Pielou 均匀度指数 J 却是在 3 类生境中最高，因取样时在潮沟底发现的生物种类不多，而且它们之间的数量相差不大，反映出各类物种分布比较均匀。这一点对 Shannon-weiner 指数 H' 的大小也起了决定作用，因为 H' 的生态学意义包括两点，一是生物的物种数，第二便是物种分布的均匀程度（Kvalseth，1991；Magurran，1998）。草滩上的物种虽然比潮沟底要多，但草滩的 J 在总体上是所有生境中最小的，所以 Shannon-Weiner 指数 H' 在总体上反而是 GF＜BoC。而相对 Simpson 优势度指数 D 潮沟底就比较低，也是因为各种之间数量十分接近，基本上没有一种可以称作优势种，草滩则刚好相反，短拟沼螺的数量占到 40% 左右，还有如绯拟沼螺的优势地位也十分明显，故 Simpson 优势度指数为草滩最高。

3.4 物种聚类和排序

从聚类和排序的结果得知，第一类和第四类物种的生态位均较宽，这些类别物种各自之间的生态位重叠值一般也较大，而第四类物种之间的重叠值相差不大，且均在 0.900 以上。第二类中的物种，由于其数量和分布位点的关系，生态位宽度相对要小一些，但是其中一些物种之间的生态位重叠值还是比较大。第三类中的物种，生态位宽度均比较小，但这些物种的生态位重叠值变化很大，这是因为这些物种分布位点较少，很有可能完全不同，又有可能完全重叠。其中线虫（S10）和中华绒螯蟹（S11）无论在物种数量上还是在生态位的宽度上，都处于所有物种的中间位置，其中线虫只分布在潮沟底，中华绒螯蟹分布于边滩和潮沟底，但是其与第四类物种的数量又相差较多，在聚类图上与焦河蓝蛤（S13）、齿吻沙蚕（S15）、日本大眼蟹（S19）归并在一起，所以把这两个物种分在第三类。可以看出在排序图上，线虫和中华绒螯蟹的位置相对较高，与第四类边滩、潮沟底常见种较为接近。这说明物种的分布位点和数量之间的异同，在聚类和排序时能反映出来，同时结果往往与物种利用环境资源的能力有关（葛宝明等，2005c），即与生态位宽度和生态位重叠值的大小有关。

3.5 围垦对大型底栖动物群落结构的影响

围垦区内潮沟中大型底栖动物群落结构与同一区域的自然滩涂大型底栖动物群落结构（葛宝明等，2005b）有一定区别。这表明围垦对大型底栖动物群落结构有一定的影响，主要表现在以下几个方面。（1）围垦区内潮沟中生态位宽度最大的依次为短拟沼螺、日本沙蚕和绯拟沼螺。自然滩涂上生态位宽度最大的则依次为日本沙蚕，纽虫和线虫，其中纽虫和线虫在围垦区内潮沟中数量不是很多，分布位点也很少，在自然滩涂上则成为了优势种，并在各个位点都有出现。（2）从生态位重叠值来看，由于日本沙蚕，纽虫和线虫在自然滩涂的各潮带位点均有出现，所以这 3 个物种和其他物种之间的生态位重叠值均不为零。而围垦潮沟中没有一个物种在各个位点都有分布，也没有一个物种和其他所有物种之间的生态位重叠值均不为零，这点说明了围垦区内潮沟中各个位点的生境差别较自然滩涂的大，各物种呈一定的水平分布。如围垦区内潮沟的草滩长满了互花米草，土壤的板结程度较高，不利于潜穴型动物的生存，和光滩的区别十分明显。自然滩涂中的高潮带和中潮带的土壤的板结程度不高，高潮带中互花米草分布密度明显小于围垦区内的潮沟的草滩，并有很多地方未长有互花米草，生境和中潮带有一定的相似性，比较适合潜穴型动物的生存。（3）围垦区内外大型底栖动物群落的种类组成也有差异。绯拟沼螺在围垦区内潮沟中数量较大，而在自然滩涂中各个潮带均没有发现。甲壳类的生物量在围垦区内潮沟中明显比自然滩涂上要大，特别是弧边招潮，这一种类的生物量较大，在围垦区内潮沟中的数量远远比在自然滩涂条件下要多。软体动物的一些种类如彩虹明樱蛤、焦河蓝蛤等，这些生物的数量在自然滩涂条件下较多。生境状况是大型底栖动物群落变化的主要原因（袁兴中，2002），围垦导致了大型底栖动物生境的变化，尤其是植被的变化和土壤底质的理化性质的变化，使大型底栖动物的群落结构和生物多样性发生了改变。有关围垦对大型底栖动物群落的影响机制还有待于进一步深入的研究。

参考文献（References）

Albrecht M，Gotelli NJ，2001. Spatial and temporal niche partitioning in grassland ants. Oecologia 126（1）：134－141.

Bell SS，Watzin MC，Coull BC，1978. Biogenic structure and its effect on the spatial heterogeneity of meiofauna in a salt marsh. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 35：99－107.

Compiling Group of Concise Regulation of National Coastal Zone and Coastal Resources Comprehensive Survey，1986. Concise Regulation of National Coastal Zone and Coastal Resources Comprehensive Survey. Beijing：Ocean Press（In Chinese）.

Fan HQ，He BY，Wei SQ，2000. Influences of sand dune movement with in the coastal mangrove stands on the macrobenthos *in situ*. Ecological Sinica 20（5）：722－727（In Chinese）.

Ge BM，Bao YX，Zheng X，2005a. Macrobenthic community ecology of atidal flat in different habitats and creaks dyked in different years. Acta Ecologica Sinica 25（3）：446－453（In Chinese）.

Ge BM，Bao YX，Zheng X，Cheng HY，2005b. The structure of the macrobenthic community and niche analysis at a tidal flat of Linkun Island Acta Ecologica Sinica 25（11）：3 037 － 3 043（In Chinese）.

Ge BM，Bao YX，Zheng X，2005c. Structure of macrobenthic communities in different habitats at the diked tidal flat in winter. Zoological Research 26（1）：47－54（In Chinese）.

Kvalseth TO，1991. Note on biological diversity，evenness，and homogeneity easures. Oikos 62（1）：123－127.

Leibold MA，1995. The niche concept revisited：mechanistic models and community context. Ecology 76（5）：1 371－1 382.

Likens GE，Bormann FH，1974. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystem. Biology Science 24：447－456.

Liu AX，Chen ZH，Ding P，Sun MJ，Du Q，2001. Studies on the population number of waterfowls in Zhejiang Province. Journal of Zhejiang University（Agric and Life Sci）27（3）：325－329（In Chinese）.

Lin L，2005. Seasonal variation of macrobenthic infauna in the Johor Strait，Singapore. Aquatic Ecology 39：107－111.

Liu XM，Chen HY，Wu N，Guo L，2002. Study on insect community niche under different desertification controlling approaches in Tengger Desert ecosystem. Journal of Desert Research 22（6）：566－570（In Chinese）.

Magurran AE，1998. Ecological Diversity and Its Measurement. Sydeny：Croom Helm，7－46.

Naiman RJ，Decamps H，1990. The Ecology and management of Aquaticterrestrial Ecotones. Paris：UNESCO（Paris）and The Parthenon Publishing Group，316.

Tan YQ，Zhang GA，Guo EX，2004. Researches on weed niche in turf. Acta Ecologica Sinica 24（6）：1 300－1 305（In Chinese）.

Webster PJ，Rowden AA，Attrill MJ，1998. Effect of shoot density on the Infaunal Macro-invertebrate community within a Zostera Marina sea-grass bed. Estuarine，Coastal and Shelf Scince 47：351－357.

Yang DJ，Wang YL，Ma XT，1996. Oceanic Invertebrates in North China Beijing：Higher Educational Press，503－506.

Yang JY，Gao AG，Chen QZ，Hu XG，Yang GM，2004. Ecology of benthic macrofauna in the intertidal zone near the Zhejiang Ninghai Power Staion. Donghai Marine Science 22（3）：48 － 55（In Chinese）.

Yuan XZ，Liu H，Lu JJ，2002. Community structure and biodiversity characteristics of macrobenthos in the new shoal of the Changjiang esuary. Acta Oceanologica Sinica 24（2）：133 － 139（In Chinese）.

Yuan XZ，Lu JJ，2001a. Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community structure and diversity in the south bank of the Changjiang Estuary. Acta Ecologica Sinica 21（10）：1 642－1 647（In Chinese）.

Yuan XZ，Lu JJ，2001b. Preliminary study on macrobethic community of the creek in the tidal flat of the Changjiang estuary. Zoological Research 22（3）：211－215（In Chinese）.

Zhou SQ，Guo F，Wu LS，Li LG，2001. The study on the ecology of the benthic community in intertidal zone，Gujian islands. Acta Oceanologica Sinica 23（5）：104－109（In Chinese）.

全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程编写组，1986. 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.

范航清，何斌源，韦受庆，2000. 海岸红树红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.

葛宝明，鲍毅新，郑　祥，2005a. 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 25（3）：446－453.

葛宝明，鲍毅新，郑　祥，程宏毅，2005b. 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 25（11）：3 037－3 043.

葛宝明，鲍毅新，郑　祥，2005c. 围垦滩涂不同生境冬季大型底栖动物群落比较研究. 动物学研究 26（1）：47－54.

刘安兴，陈征海，丁　平，孙孟军，杜　群，2001. 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）27（3）：325－329.

刘新民，陈海燕，乌　宁，郭　砺，2002. 腾格里沙漠生态系统不同固沙方式下昆虫群落的生态位分异研究. 中国沙漠 22（6）：566－570.

谭永钦，张国安，郭尔祥，2004. 草坪杂草生态位研究. 生态学报 24（6）：1 300－1 305.

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.

杨俊毅，高爱根，陈全震，胡锡钢，杨关铭，2004. 拟建宁海电厂附近潮间带底栖生物群落生态. 东海海洋 22（3）：48－55.

袁兴中，刘　红，陆健健，2002. 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.

袁兴中，陆健健，2001a. 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 21（10）：1 642－1 647.

袁兴中，陆健健，2001b. 长江口潮沟大型底栖动物群落的初步研究. 动物学研究 22（3）：211－215.

周时强，郭　丰，吴荔生，李荣冠，2001. 福建海岛潮间带底栖生物群落生态的研究. 海洋学报 23（5）：104－109.