

# 围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响

袁兴中, 陆健健

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

**摘要:**通过对长江口南岸围垦潮滩和自然潮滩大型底栖无脊椎动物进行取样调查, 研究了围垦潮滩的底栖动物群落结构及其多样性特征, 分析了围垦对潮滩底栖动物群落结构及多样性的影响。研究发现: ①围垦使底栖动物群落种类减少, 种类组成发生变化; 总趋势是, 围垦以后, 甲壳动物种类明显减少, 由 7 种减少到 1 种; 随着围垦时间延长, 多毛类种类减少, 由 4 种减少到 3 种, 直到最后消失; 而软体动物和昆虫幼虫种类所占比例则明显增加, 分别从占总种数的 29.41%、5.89% 增加到 50.00% 和 25.00%; ②围垦 1a 且仍受潮水影响的潮滩, 底栖动物种类丰度虽有降低, 但其密度和生物量却明显增加, 分别从 132.10 个/m<sup>2</sup>、35.31g/m<sup>2</sup>(湿重) 增加到 218.32 个/m<sup>2</sup>和 79.66 g/m<sup>2</sup>(湿重); 围垦 2a 且潮水不能进入的潮滩, 底栖动物生物量大大降低, 降到 3.02 g/m<sup>2</sup>(湿重); ③围垦时间短且仍受潮水影响的潮滩与未围垦的自然潮滩相比, 其底栖动物多样性降低不明显; 围垦时间长且潮水不能进入的潮滩, 底栖动物多样性明显降低, 反映了围垦导致潮滩湿地生境退化; ④围垦对底栖动物群落结构及多样性的影响, 是通过改变潮滩湿地生境中的多种环境因子造成的, 如潮滩高程、水动力、沉积物特性、植被演替等, 是各种因子综合作用的结果。

**关键词:** 底栖动物群落; 物种多样性; 潮滩; 围垦; 长江口南岸

## Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community structure and diversity in the south bank of the Changjiang Estuary

YUAN Xing-Zhong, LU Jian-Jian (State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China), *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1642~1647.

**Abstract:** Based on the data collected from samplings on the benthic macro-invertebrate community in the natural and diked tidal flats in the south bank of the Changjiang Estuary, the composition of species, diversity, and community structure were analyzed. Major conclusions from this research are: 1. After diking, species richness decreased in the tidal flat, and the composition of species also changed. The species number of Crustacea obviously decreased from 7 to 1, and that of Polychaeta decreased from 4 to 3 disappeared at last. The proportion of Mollusca and Insecta larva take up in the total composition of species obviously increased from 29.41%, 5.89% to 50.00% and 25.00%, respectively; 2. In the tidal flat which had been diked for 1 year and still influenced by tide, species richness of benthic macro-invertebrate decreased, but its density and biomass obviously increased from 132.10 ind./m<sup>2</sup>, 35.31 g/m<sup>2</sup>(wet weight) to 218.22 ind./m<sup>2</sup> and 79.66 g/m<sup>2</sup>(wet weight), respectively. By contract, in the tidal flat which had been diked for 2 years and almostly not influenced by tide, biomass decreased greatly; 3. Compared to natural tidal flat, in the tidal flat wich had been diked for short time and still influenced by tide, there is no obviously decrease for species diversity. In the tidal flat which had been diked for a long time and almostly not influenced by tide, the species diversity obviously decreased, which reflected degradation of wetland habitat in the tidal flat; 4. The influence that diking tidal flat imposed on the benthic macro-invertebrate

基金项目: 国家教育部高校湿地专项基金资助项目

收稿日期: 2000-02-18; 修订日期: 2000-12-02

作者简介: 袁兴中, 男, 四川人, 博士, 副教授。主要从事动物群落生态学研究。

community structure and diversity was caused by changed environmental factors of the wetland habitat in the tidal flat , such as the elevation, hydrodynamics, characteristics of sediment and succession of vegetation.

**Key words:** benthic macro-invertebrate community; species diversity; tidal flat; dike; the south bank of the Changjiang Estuary

文章编号:1000-0933(2001)10-1642-06 中图分类号:Q143 文献标识码:A

潮滩底栖动物是河口湿地生态系统的重要组成部分,其分布不仅与河口理化环境密切相关<sup>[1,2]</sup>,而且在不同时间和空间尺度上的自然或人为干扰也会导致底栖动物群落结构和多样性发生变化<sup>[3,4]</sup>。底栖动物群落与其生活的底质构成了河口生态系统的底栖亚系统,是河口潮滩湿地生态系统多样性最直接和最易于观察研究的一个层次,它们在揭示群落与环境及人类干扰的关系上具有重要的作用<sup>[5,6]</sup>。随着人们对自然资源的不断开发利用,越来越多的湿地生态系统受到了不同程度的破坏。受人类干扰严重的生态系统与原生生态系统相比,其生物群落结构和功能方面都有了改变,它们的物种多样性特征也发生了变化<sup>[7,8]</sup>。本文根据 1999 年 3~11 月份的调查结果,对长江口南支南岸围垦潮滩底栖动物群落结构及多样性进行了研究,试图揭示人类干扰下河口潮滩湿地底栖动物群落结构及多样性的基本特征。

1 研究地区自然概况

长江口是世界上的一个特大型河口,潮滩面积广阔,是亚太候鸟迁徙路线上的重要“驿站”。长江口南支南岸潮滩从高桥水文站到芦潮港,全长 80 km。此区域多年平均潮差 2.40~3.30 m,潮汐性质属非正规半日浅海潮,是长江口淡水和盐水的交汇带。本区域潮流进入滩涂流速较小,平均为 0.08~0.59m/s,滩地潮流含沙量平均为 1.45kg/m<sup>3</sup>,平均盐度为 0.04‰~0.05‰<sup>[9]</sup>。本区域为长江径流入海扩散和长江口南槽与杭州湾北岸两股水体涨潮分流,落潮合流共同作用下的潮滩地貌形态,潮滩地貌分带明显。在小潮高潮位附近出现海三棱草,向上逐渐连成片状;小潮高潮位以下是光泥滩;大潮高潮位以上分布有以芦苇为主的植被。潮滩的高程愈高,泥沙颗粒愈细,分选性愈差。高潮滩一般由粘土质粉砂、粉砂质粘土组成,中值粒径为 0.004~0.016mm;低潮滩表层物质由粉砂、砂质粉砂、细砂组成,中值粒径为 0.016~0.125mm。潮滩平均每年淤涨 40~80m。

潮滩围垦是长江口地区由来已久的一种人类活动方式,系利用围涂大堤促进泥沙淤积的围海造地工程。1996 年 1 月开始围垦长江口南支南岸自三甲港至朝阳农场岸段,围堤建在光滩外缘,从北向南延伸,长约 12.5 km。从潮上带到围堤分别有隔堤相连。隔堤自西向东延伸,平均长约 1600m。1~3 号隔堤所包括的潮滩为 1996 年 1 月开始修筑围堤,同年 8 月围堤竣工;1998 年 3 月封堵围堤进出水口,潮水不能进入。4~6 号隔堤所包括的潮滩为 1998 年 1 月开始修筑围堤,同年 8 月围堤竣工,围堤仍留有潮水的进出口,宽约 100 m。6 号隔堤以南的潮滩尚未围垦(图 1)。

2 研究方法

2.1 样地调查

1999 年 3~11 月对长江口南支南岸围垦岸段进行了采样调查,每月数据次,定量采样与定性调查相结合。在 6 号隔堤两侧及 2 号隔堤与 3 号隔堤之间的潮滩

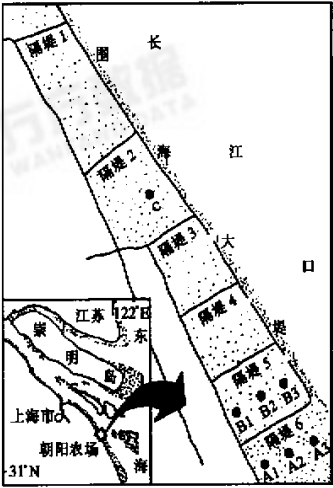


图 1 长江口南支南岸围垦岸段与采样位置

Fig. 1 Reclamative bank and sampling stations in the southern bank of the Changjiang Estuary

各设一采样断面(断面 A、断面 B、断面 C)。断面 A 代表未围垦的自然潮滩,断面 B 代表已围垦 1 a 且潮水仍可通过缺口进出的潮滩,断面 C 为已围垦 2a 且全面封堵、潮水不能进入的潮滩。断面 A、B 各设 3 个采样站,站位选在海三棱 草带上部、海三棱 草带下部、光滩,分别代表着潮间带的高潮带、中潮带和低潮带。由于断面 C 已围垦 2a,且潮水不能进入,底质趋向陆生化,其高、中、低潮带生境已差异不大,故只在具有代表性的潮滩中部设 1 个采样站。一共 7 个站位,A1、A2、A3 分别为 6 号隔堤未围垦一侧的海三棱 草带上部、下部和光滩;B1、B2、B3 分别为 6 号隔堤围垦一侧的海三棱 草带上部、下部和光滩;C 为 2 号隔堤与 3 号隔堤间潮滩的中部。每个采样站随机选取 6 个样方,定量取样。样方面积为 50cm×50cm×20cm,用铁锹挖取底质,底质用 1mm 孔目的套筛进行淘洗,获取大型底栖动物标本。标本处理和分析均按《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》第七篇“岸带生物调查方法”进行。

2.2 计算公式

本研究根据河口潮滩底栖动物群落的特点及取样数据,选择使用了以下计算公式<sup>[10,11]</sup>,进行数据及结果的分析。

- ① Marglef 种类丰度  $S = S/1/\log_2 N$ ;
- ② Simpson 指数  $D = N(N - 1)/\sum n_i(n_i - 1)$ ;
- ③ Shanno-Wiener 指数  $H' = - \sum P_i \log_2 P_i$ ;
- ④ Pielou 的均匀度指数  $J = (- \sum P_i \log_2 P_i)/\log_2 S$ ;
- ⑤ McNaughton 种类优势度指数  $D_2 = (N_1 + N_2)/N$ ;
- ⑥ Bray-Curtis 相似性指数  $S_{ik} = 100[1 - \sum |Y_{ij} - Y_{ik}| / \sum |Y_{ij} + Y_{ik}|]$

式中, $S$  为总种数; $P_i$  为种  $i$  的个体数占总个体数的比例; $n_i$  为  $i$  种的个体数; $N$  为所有种的个体总数; $N_1$ 、 $N_2$  为样品中居第一、二位的优势种的个体数。本文在计算群落的相似性系数前,对 7 个站位原始物种丰度数据进行四次方根变换<sup>[12]</sup>, $Y_{ij}$ 是第  $i$  个物种在第  $j$  个样方中的丰度经变换后的数值, $Y_{ik}$ 第  $i$  个物种在第  $k$  个样方中的丰度经变换后的数值。

3 结果与分析

3.1 底栖动物群落的种类组成

调查过程中共发现大型底栖无脊椎动物 22 种,分隶于 4 门、6 纲。其中,6 号隔堤未围垦一侧的自然潮滩 17 种,优势种为光滑狭口螺(*Stenothyra glabra*)和河蚬(*Corbicula fluminea*)。6 号隔堤围垦一侧的潮滩 13 种,优势种为麂眼螺(*Rissoina* sp.)、谭氏泥蟹(*Ilyrplax dexchampsii*)。已围垦 2a 的 2 号隔堤与 3 号隔堤之间的潮滩仅有 4 种,优势类群为昆虫纲双翅目(Diptera)幼虫。从图 2 可知,3 种不同的潮滩,底栖动物种类组成具有差异,明显的趋势是,围垦以后,甲壳动物种类减少(由 7 种减少到 1 种);昆虫幼虫比例增加(由占总种数的 5.89%增加到 25.00%);随着围垦时间延长,多毛类种类减少,由 4 种减少到 3 种,直到最后消失;软体动物种类相对有所增加,由总数的 29.41%增加到 50.00%。

3.2 底栖动物密度与生物量

6 号隔堤未围垦一侧的自然潮滩,底栖动物平均密度为 132.10 个/m<sup>2</sup>,生物量为 35.31 g/m<sup>2</sup>(湿重)。6 号隔堤围垦一侧的潮滩底栖动物平均密度为 218.22 个/m<sup>2</sup>,生物量为 79.66g/m<sup>2</sup>(湿重)。已围垦 2a 的 2 号隔堤与 3 号隔堤之间的潮滩,底栖动物平均密度为 117.33 个/m<sup>2</sup>,生物量为 3.02g/m<sup>2</sup>(湿重)。围垦 1a 且潮水能进入的海滩,底栖动物密度与生物量都明显高于自然潮滩。围垦时间长、潮水不能进入的潮滩,其底栖动物生物量明显降低。

3.3 底栖动物群落结构

为了揭示不同采样站位各动物群落的差异水平,在 Bray-Curtis 相似性测量的基础上,采用组间平均聚类法对底栖动物群落进行聚类分析。从聚类树枝图(图 3)可见,7 个站位可以被分成 3 组,第 1 组包括站位 A1、A2、A3,第 2 组包括站位 B1、B2、B3,站位 C 为第 3 组。这些站位的分组表明,每组内各站位间底栖动物群落相似程度较高,各组间群落组成差别较大。

利用群落结构序列分析方法 (Non-metric Multidimensional Scaling MDS),以 Bray-Curtis 相似性测量为基础,对底栖动物群落结构变化进行分析,绘制出各站位群落结构相似性 MDS 图(图 4)。该图形分析的 Stress 值为 0.06(<1),说明所得到的 MDS 图可以正确解释样本间的相似关系,从图 4 可以看出,MDS 分析与聚类分析的结果基本一致。在 MDS 图上,7 个站位分成了 3 个不同的组。MDS 分析与聚类分析的不同之处是,MDS 连续地展示样本间生物组成的相似关系,即生物组成越相似的两个站位,在 MDS 图上代表它们的距离就越近;生物组成相差越远的两个站位,则代表它们的点在图上的距离就越远。图 4 表明,位于 MDS 图最左边的是聚类组 1,包括 A1、A2、B1、B2 4 个站位,其次是聚类组 2,包括 A3、B3 两个站位,聚类组 3 即站位 C 位于最右上角。

聚类分析与 MDS 分析的结果都表明,虽然 6 号隔堤北侧已经围垦,但由于围垦时间不长,且仍然受潮水周期性的影响,故而中、高潮带(站位 B1、B2)的底栖动物群落与未围垦的自然潮滩中、高潮带(站位 A1、A2)仍较相似。6 号隔堤两侧的光滩仍较相似,表现为底栖动物种类组成都较海三棱草带贫乏。围垦时间长,且潮水完全不能进入的潮滩(C),其底栖动物群落与其它群落有着明显的差异。

3.3 底栖动物多样性

从表 1 可知,未围垦的自然潮滩按潮滩微地貌分带看,其底栖动物多样性为海三棱草带上部>海三棱草带下部>光滩,后两者较接近,海三棱草带下部稍高于光滩。由于潮滩植物的生长有利于沉积环境的稳定,且植株的高度、密度及生物量都明显与植物对沉积环境的稳定呈正相关<sup>[13,14]</sup>。在海三棱草带,上部与下部的特征存在着明显的差异(表 2),上部的底栖动物多样性明显高于下部( $P < 0.05$ ),这与整个长江口潮滩底栖动物多样性分布格局是一致的。由于海三棱草带上部植株密度大,地上部分结构复杂,生物量也较高,因而底栖动物的生产空间较为多样,食物来源丰富,故此带物种丰度及密度也明显高于其它两带( $P < 0.05$ )<sup>[13]</sup>。但种类优势度却低于其它两带,这是因为未围垦的自然潮滩的底栖动物优势种光滑狭口螺和河蚬主要分布在海三棱草下部和光滩的缘故。

围垦 1a 且仍受潮水影响的潮滩,底栖动物多样性低于未围垦的潮滩,但差异不显著( $P > 0.05$ ),潮滩各带的多样性分布趋势大体上与自然潮滩一致。但围垦 1a 后,底栖动物物种丰度比自然潮滩降低,尤其是在中、低潮带比较显著( $P < 0.05$ ),表明了围垦对物种丰度有较明显的影响。

表 1 还表明了不同围垦时间和受不同围垦方式影响的潮滩,其底栖动物多样性的差别。已围垦 2a 的 2~3 号隔堤间的潮滩,其物种丰度和多样性,明显低于自然潮滩和围垦 1a 且仍受潮水影响的潮滩( $P < 0.05$ )。由于围垦时间长,且没有潮水影响,光滩消失,底质趋于陆生化,海三棱草带中有大量芦苇和其它高

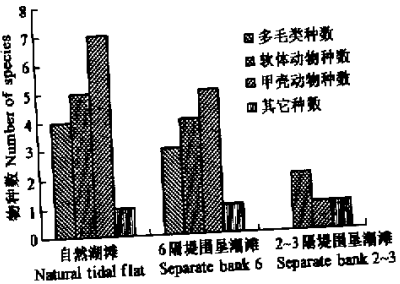


图 2 不同生境底栖动物群落种类组成  
Fig. 2 The species composition of zoobenthic communities at different habitats

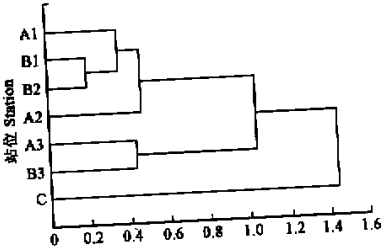


图 3 不同生境底栖动物群落聚类树枝图  
Fig. 3 Graph depicting branches of zoobenthic communities at different habitats

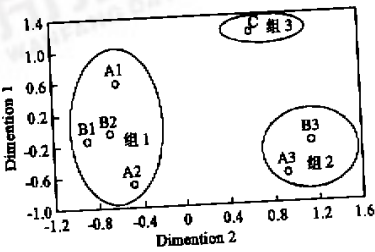


图 4 7 个站位底栖动物群落 MDS 分析  
Fig. 4 Multidimensional scaling ordination plot (stress=0.06) of zoobenthic samples taken from seven stations

等植物侵入,沉积物变得干硬,整个潮滩仅局部地方有小水塘,底栖动物仅有4种,且以昆虫纲双翅目幼虫占绝对优势。

表1 长江口南岸围垦岸段底栖动物多样性指数

Table 1 The zoobenthic diversity indexes in the southern bank of the Changjiang Estuary

指标 Indexes	自然潮滩 Natural tidal flat			围垦潮滩(6隔堤)Diked tidal flat(Separate bank 6)			围垦潮滩(2~3隔堤)Diked tidal flat(Separate bank 2~3)
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C
密度 Density(个/m <sup>2</sup> )	224.00	110.97	61.33	260.00	165.33	229.33	117.33
生物量 Biomass(g/m <sup>2</sup> )	39.20	38.30	28.42	131.48	81.31	26.20	3.02
Marglef 种类丰度	3.23	2.24	2.05	3.18	1.67	1.71	0.64
Simpson 指数	3.32	2.99	2.75	2.55	2.02	1.97	1.54
Shannon 指数	1.70	1.02	1.01	1.55	0.90	0.93	0.44
Pielou 均匀度	0.80	0.78	0.91	0.52	0.64	0.60	0.53
McNaughton 优势度	0.76	0.91	0.94	0.79	0.90	0.93	0.97

表2 自然潮滩植物群落与底栖动物群落特征比较

Table 2 Comparison between plant community characteristics and zoobenthic community characteristics in natural flat

植物群落分带 Zone of plant community	植物群落特征 Characteristics of plant community			底栖动物群落特征 Characteristics of zoobenthic community		
	植株高度(m) Height	密度(棵/m <sup>2</sup> ) Density (ind./m <sup>2</sup> )	生物量(鲜重 g/m <sup>2</sup> ) Biomass (wet weight g/m <sup>2</sup> )	种类数 Number of species	密度(个/m <sup>2</sup> ) Density (ind./m <sup>2</sup> )	Shannon 指数 Shannon index
海三棱 草带上部	47.50	1466.66	695.47	12	224.00	3.32
海三棱 草带下部	22.33	962.96	558.93	7	110.97	2.99

4 讨论

4.1 河口潮滩底栖动物的生存与河口的物理、化学和地质过程有关,河口环境的大多数变化都会反映在底栖动物群落结构及多样性指标上,河口潮滩沉积物生境的稳定性与自然物理扰动、生物扰动和人类活动干扰有着密切的关系。滩涂围垦是长江口地区由来已久的一种人类围海造地的方式,围垦虽然给人们带来了大量可利用的土地,但是也导致潮滩湿地生境生态功能的退化或丧失。本研究表明,围垦使底栖动物结构及多样性发生变化,因而其变化可以作为潮滩湿地生境改变的指标,也能反映围垦干扰破坏的程度。

4.2 围垦时间长短和围垦方式的不同,导致潮滩底栖动物群落结构及多样性变化的程度是不同的。围垦时间长,且没有潮水影响的围垦方式使底质明显陆生化,底栖动物种类丰度及多样性降低,反映了潮滩湿地生境的破坏。而还能受到潮水周期性作用的围垦潮滩,底栖动物物种丰度有所降低,但多样性降低不明显;由于淤积加快,潮滩高程增高,植被演替加快,植株密度和生物量增加,反而有利于与盐沼植物有关的大型底上动物的生存,如麋眼螺密度很高,也发现有较多的缢蛏(*Sinonovacula constricta*);因此物种数量虽然下降,但某些种类的生物量却升高,故底栖动物密度及生物量反而比自然潮滩稍高<sup>[16]</sup>。

4.3 围垦对底栖动物群落结构及多样性的影响,是通过改变潮滩湿地生境中的多种环境因子造成的,如高程、水动力、沉积物特性等的改变<sup>[17]</sup>。6号隔堤北侧围垦以后,淤积加快,高程明显高于未围垦一侧。围垦一侧光滩比未围垦一侧光滩高出100cm,围垦一侧海三棱 草上缘比未围垦一侧海三棱 草上缘高出40~80cm;平均高出70~80cm,导致湿地盐沼植被演替加快;涨落潮也比未围垦一侧晚1h左右。由于整个滩面上,潮水只能从一个缺口进出,故水动力条件发生改变,潮流速度减缓,出现局部沉积物受蚀或堆积现象,这种不稳定的环境使栖息于表层的许多种类的生存受到不利影响。此外,与未围垦的自然潮滩相比,潮滩地貌形态也随之变化,形成2条较大的潮沟,潮沟深约100cm,小潮沟也增多。由于围垦后潮滩高程

增加,因而潮滩暴露在空气中的时间比自然潮滩增多。这些环境因子的变化,都使得 6 号隔堤围垦一侧生境变得不稳定,因而物种种数减少、丰度降低,种类组成发生改变。

4.4 河口潮滩底栖动物是迁徙鸟类的重要饵料,也维持着潮滩湿地生态系统的许多重要生态过程<sup>[18,19]</sup>,围垦使潮滩湿地生境退化,不但影响了底栖动物的生存,也使迁徙鸟类的栖息地和饵料受到破坏。因此,对潮滩的围垦必须慎重,不能盲目围垦。由于上海市的用地矛盾日益突出,而潮滩淤涨则是河口发育的自然规律,因此适度围垦是符合河口发育规律的,但一定要科学制定围垦方式和围垦高度,考虑到用地需求及湿地动物的保护,可以适度围垦平均大潮高潮位以上的潮滩。而对海三棱 草带的围垦,从底栖动物群落及其生境来看,应该采用保留进出水口的围垦方式。

## 参考文献

- [1] McLusky D S. *The estuarine ecosystem*. New York: Chapman & Hall, 1989.
- [2] Baretla J and Ruardij P. *Tidal flat estuaries*. New York: Springer-Verlag, 1988.
- [3] Hall S J and Harding M J C. Physical disturbance and marine benthic communities: the effects of mechanical harvesting of cockles on non-target benthic infauna. *Journal of Applied Ecology*, 1997, **34**: 497~517.
- [4] Drake P and Arias A M. The effect of aquaculture practices on the benthic macroinvertebrate community of a lagoon system in the bay of Cadiz (Southwestern Spain). *Estuaries*, 1997, **20**: 677~688.
- [5] Ong B and Krishaans S. Changes in the macrobenthos community of a sand flat after erosion. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1995, **40**: 20~33.
- [6] Reise K. *Tidal flat ecology*. New York: Spring-Verlag, 1985.
- [7] Arbubov R. species diversity and phasing of disturbance. *Ecology*, 1982, **63**: 289~293.
- [8] 毕洪生, 冯 卫. 胶州湾底栖动物多样性初探. *海洋科学*. 1996, **6**: 58~62.
- [9] 上海市海岸带和海涂资源综合调查组. 上海市海岸带和海涂资源综合调查报告. 上海: 上海科学技术出版社, 1988.
- [10] Pielou E C. *Ecological diversity*. New York: John Wiley, 1975.
- [11] 马克平. 生物多样性的测度方法. 见: 钱迎倩, 马克平主编. 生物多样性的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 141~165.
- [12] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 1993, **18**: 117~143.
- [13] 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.
- [14] 杨世伦, 陈吉余. 试论植物在潮滩发育演变中的作用. *海洋与湖沼*. 1994, **25**(6): 631~635.
- [15] Lana P C and Guiss C. Influence of *Spartina alterniflora* on structure and temporal variability of macrobenthic associations in a tidal flat of Paranaguá Bay (Southeastern Brazil). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1991, **73**: 233~244.
- [16] Webster P J, Rowden A A and Attrill M J. Effect of shoot density on the infaunal macro-invertebrate community within a *Zostera marina* seagrass bed. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1998, **47**: 351~357.
- [17] Warwick R M, Goss-Custard J D, Kirby R, et al. Static and dynamic environmental factors determining the community structure of estuarine macrobenthos in SW Britain: Why is the seven estuary different? *Journal of Applied Ecology*, 1991, **28**: 329~345.
- [18] 袁兴中, 何文珊. 海洋沉积物动物多样性及其生态系统功能. *地球科学进展*. 1999, **14**(5): 458~463.
- [19] Coull B C. Role of neofauna in estuarine soft-bottom habitats. *Australian Journal of Ecology*, 1999, **24**: 327~343.