

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第5期 Vol.34 No.5 **2014**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 5 期      2014 年 3 月    (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 干旱指标研究进展..... 李柏贞,周广胜 (1043)
- 气候变化对作物矿质元素利用率影响研究进展..... 李堃清,吴正云,张 强,等 (1053)
- 森林生态系统中植食性昆虫与寄主的互作机制、假说与证据 ..... 曾凡勇,孙志强 (1061)
- 线虫区系分析指示土壤食物网结构和功能研究进展..... 陈云峰,韩雪梅,李钰飞,等 (1072)
- 中国省际水足迹强度收敛的空间计量分析 ..... 赵良仕,孙才志,郑德凤 (1085)
- 高原河谷城市植被时空变化及其影响因素——以青海省西宁市为例..... 高 云,谢苗苗,付梅臣,等 (1094)
- 土地利用和环境因子对表层土壤有机碳影响的尺度效应——以陕北黄土丘陵沟壑区为例.....  
..... 赵明月,赵文武,钟莉娜 (1105)
- 赤子爱胜蚓和毛利远盲蚓对添加造纸污泥土壤的化学和生物学特征的影响.....  
..... 陈旭飞,张 池,戴 军,等 (1114)

### 个体与基础生态

- 钾与信号抑制剂对外生菌根真菌分泌乙酸的调控作用..... 杨红军,李 勇,袁 玲,等 (1126)
- 砷诱导蚕豆气孔保卫细胞死亡的毒性效应..... 薛美昭,仪慧兰 (1134)
- 石油污染土壤中苯酚降解菌 ad049 的鉴定及降解特性..... 胡 婷,谷 洁,甄丽莎,等 (1140)
- 紫花苜蓿对铜胁迫生理响应的傅里叶变换红外光谱法研究..... 付 川,余顺慧,黄怡民,等 (1149)
- 播种期对晚季稻香气 2-乙酰-1-吡咯啉含量和产量的影响 ..... 杨晓娟,唐湘如,闻祥成,等 (1156)
- 外源钙(Ca)对毛葱耐镉(Cd)胁迫能力的影响 ..... 王巧玲,邹金华,刘东华,等 (1165)
- 基于植被指数的北京军都山荆条灌丛生物量反演研究..... 高明亮,官兆宁,赵文吉,等 (1178)
- 三种暖季型草坪草对二氧化硫抗性的比较..... 李 西,王丽华,刘 尉,等 (1189)
- 恩施烟区无翅桃蚜在烤烟田空间动态的地统计学分析..... 夏鹏亮,王 瑞,王昌军,等 (1198)
- 啮齿动物捕食和搬运蒙古栎种子对种群更新的影响..... 张晶虹,刘丙万 (1205)
- 高原鼠兔有效洞穴密度对高寒草甸优势植物叶片和土壤氮磷化学计量特征的影响.....  
..... 李倩倩,赵 旭,郭正刚 (1212)
- 光、温限制后铜绿微囊藻和斜生栅藻的超补偿生长与竞争效应..... 谢晓玲,周 蓉,邓自发 (1224)

### 种群、群落和生态系统

- 人工巢箱繁殖鸟类主要巢捕食者及其影响因素..... 张 雷,李东来,马锐强,等 (1235)
- 泉州湾埭埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布..... 卓 异,蔡立哲,郭 涛,等 (1244)

- 不同尺度因子对滦河流域大型底栖无脊椎动物群落的影响…………… 张海萍,武大勇,王赵明,等 (1253)
- 呼兰河湿地夏、秋两季浮游植物功能分组演替及其驱动因子…………… 陆欣鑫,刘 妍,范亚文 (1264)
- 江西桃红岭国家级自然保护区梅花鹿生境适宜性评价…………… 李 佳,李言阔,缪沪君,等 (1274)

### 景观、区域和全球生态

- 中国自然保护综合地理区划…………… 郭子良,崔国发 (1284)
- 近 10 年来蒙古高原植被覆盖变化对气候的响应 …………… 缪丽娟,蒋 冲,何 斌,等 (1295)
- 人类活动与气候变化对洪湖春旱的影响 …………… 刘可群,梁益同,周金莲,等 (1302)
- 2000—2010 年武汉市中心城区湖泊景观变化 …………… 淡永利,王宏志,张 欢,等 (1311)

### 资源与产业生态

- 三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布…………… 李 芬,吴志丰,徐 翠,等 (1318)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 282 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 30 \* 2014-03



**封面图说:** 插秧季节的桂西——2009—2011 年,我国广西、云南、贵州、四川、重庆等西南地区遭受了百年不遇的特大旱灾,其中广西西北部、云南大部、贵州西部等石漠化地区最为严重,农作物大面积绝收,千百万人和大牲畜饮水困难,这种危害是巨大的、现实的。从对 2009—2011 年我国西南地区旱灾程度及其对植被净初级生产力影响结果显示:2009—2011 年西南地区年均降水量和湿润指数明显低于 1980—2008 年均值,植被净初级生产力低于 2001—2008 年均值,造成的碳损失约占我国总碳汇的 7.91%。全球气候变暖给大气环流提供了动力,也造成了许多极端灾害天气,因此如何应对气候变化形势显得更加紧迫。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201210191456

卓异, 蔡立哲, 郭涛, 傅素晶, 陈昕韡, 吴辰. 泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布. 生态学报, 2014, 34(5): 1244-1252.

Zhuo Y, Cai L Z, Guo T, Fu S J, Chen X W, Wu C. Temporal and spatial variation of macrobenthic communities in the intertidal zone of Xunpu, Quanzhou Bay. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(5): 1244-1252.

## 泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布

卓 异<sup>1</sup>, 蔡立哲<sup>1,2,\*</sup>, 郭 涛<sup>1</sup>, 傅素晶<sup>1</sup>, 陈昕韡<sup>1</sup>, 吴 辰<sup>1</sup>

(1. 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361102; 2. 厦门大学滨海湿地生态系统教育部重点实验室, 厦门 361102)

**摘要:** 为了比较泉州湾罴埔潮间带沙滩、互花米草滩和牡蛎石泥滩 3 种生境(3 个潮层)的大型底栖动物群落, 2011 年 4 月至 2012 年 1 月对 3 种生境的大型底栖动物进行了季度定量取样。在 3 种生境共获得 85 种大型底栖动物, 其中环节动物 39 种, 软体动物 20 种, 节肢动物 21 种, 刺胞动物、扁形动物、纽虫动物、星虫动物和脊索动物各 1 种。多维标度排序(MDS)分析表明, 春季和冬季泉州湾罴埔潮间带 3 种生境的大型底栖动物群落相似性较低; 夏季和秋季互花米草滩与牡蛎石泥滩的大型底栖动物群落相似性较高, 而与沙滩的大型底栖动物群落相似性较低。沙滩大型底栖动物群落的变化较明显, 其次是牡蛎石泥滩, 而互花米草滩大型底栖动物群落的变化较不明显。大型底栖动物栖息密度和生物量随着潮层降低而增加。单变量双因素方差分析(Two-way ANOVA)表明, 不同生境之间的大型底栖动物物种数、栖息密度、多样性指数、均匀度指数和丰度指数有显著差异, 但生物量无显著差异, 这是因为沙滩的物种数较少, 栖息密度较低, 但优势种弧边招潮蟹(*Uca arcuata*)个体较大, 互花米草滩和牡蛎石泥滩的优势种为加州中蚓虫(*Mediomastus californiensis*), 个体相对弧边招潮蟹小。不同季节之间大型底栖动物物种数、栖息密度、生物量和丰度指数有显著差异, 但多样性指数和均匀度指数无显著差异, 这是因为沙滩物种数少, 但个体分布比较均匀, 而互花米草滩和牡蛎石泥滩物种数较多, 个体分布较不均匀。以上结果表明, 潮汐、沉积物粒径和生境是影响潮间带大型底栖动物群落的主要因素。潮汐导致潮间带的空间异质性, 空间异质性导致大型底栖动物群落的差异。

**关键词:** 大型底栖动物; 群落; 时空分布; 潮间带; 泉州湾

### Temporal and spatial variation of macrobenthic communities in the intertidal zone of Xunpu, Quanzhou Bay

ZHUO Yi<sup>1</sup>, CAI Lizhe<sup>1,2,\*</sup>, GUO Tao<sup>1</sup>, FU Sujing<sup>1</sup>, CHEN Xinwei<sup>1</sup>, WU Chen<sup>1</sup>

1 College of the Environment and Ecological Science, Xiamen University, Xiamen 361102, China

2 Key Laboratory of the Ministry of Education for Coastal and Wetland Ecosystems (Xiamen University), Xiamen 361102, China

**Abstract:** This study was conducted in three different tidal levels within the intertidal zone of Xunpu, Quanzhou Bay, namely a sandy flat (on high-tide level), a *Spartina alterniflora*-dominated flat (on middle-tide flat) and an oyster-dominated flat (on middle-tide flat). Investigations were repeated four times between 2011 and 2012. We aimed to understand the spatial and temporal variation of macrobenthic community structure and to evaluate differences among three habitats in the study area. A total of 85 macrobenthic species were recorded, including 39 annelida (38 polychaeta and 1 oligochaeta), 21 crustacea, 20 mollusca (6 gastropoda and 14 bivalvia), 1 cnidaria, platyhelminthes, nemertea, sipuncula and chordata. The results of MDS analysis showed different macrobenthic communities among the three sites in spring and winter, while communities at the *S. alterniflora*-dominated and oyster-dominated flats were similar in summer and autumn. Within each season, the species number in the *S. alterniflora*-dominated flat was higher than that at the other two sites, probably due to a mixed sediment type and the shadowing of *S. alterniflora* acting as a shelter to animals. Instead,

基金项目: 国家自然科学基金(41176089)

收稿日期: 2012-10-19; 修订日期: 2013-03-04

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cailizhe@xmu.edu.cn

density and biomass of macrobenthos were higher at the two middle-tide flats than at the high-tidal flat. The temporal variation of macrobenthos was largest in the high-tidal flat and least in the *S. alterniflora*-dominated flat. With reduced tidal layer, density and biomass increased. Analysis of two-way ANOVA showed that in the three different habitats the species number, density, biodiversity, evenness and richness of macrobenthos were significantly different, while biomass was not. This because the species number and density were lower at the high-tide flat, dominated by the crab *Uca arcuata*, than at the other two sites, dominated by the polychaete *Mediomastus californiensis*. A comparison between different seasons showed that there were significant differences in species number, density, biomass and richness index, while diversity index and evenness index were not. This because the species number on the high-tide sand/flat was low, but distribution was more even. The results indicate that larger tidal ranges and longer submerged time in summer and autumn cause more similarity of macrobenthic communities in the *S. alterniflora*-dominated and oyster-dominated flats. Overall, tidal level, sediment particle size and habitat type were the main factors affecting the temporal and spatial distribution of macrobenthos in Xunpu intertidal zone, Quanzhou Bay.

**Key Words:** macrobenthos; community; temporal and spatial variation; intertidal zone; Quanzhou Bay

泉州湾位于福建省东南部,北纬  $24^{\circ}47' - 24^{\circ}58'$ ,东经  $118^{\circ}38' - 118^{\circ}52'$ ,外连台湾海峡,内连晋江,与惠安县、洛江区、丰泽区、晋江市和石狮市相连<sup>[1]</sup>。潮间带是指大潮期的最高潮位和大潮期的最低潮位间的海岸,也就是海水涨至最高时所淹没的地方开始至潮水退到最低时露出水面的范围。泉州湾潮间带分为岩石海岸、沙滩、泥滩、红树林湿地、互花米草湿地等类型<sup>[2]</sup>。根据半日潮活动的规律,泉州湾罴埔潮间带可分为 3 个潮区 7 个潮层,即高潮区 2 个、中潮区 3 个和低潮区 2 个潮层。

有关泉州湾潮间带大型底栖动物,郑成兴等曾进行过泉州湾岩相潮间带底栖动物的生态研究<sup>[3]</sup>,谢进金报道过泉州湾河口湿地潮间带贝类<sup>[1]</sup>,黄宗国描述过泉州湾河口湿地生物多样性<sup>[2]</sup>,刘荣成<sup>[4]</sup>和黄雅琴<sup>[5]</sup>等研究过泉州湾洛阳江红树林自然保护区潮间带大型底栖动物多样性。从以上几篇文献可以看出,对泉州湾潮间带大型底栖动物群落的研究主要集中在不同断面的比较上,但不同潮层、底质和生境导致同一条断面内大型底栖动物群落千差万别。浮游生物和游泳生物的介质主要是水体,而底栖生物的介质多种多样,宏观的有沙滩、泥滩、岩石滩、红树林、海草、珊瑚礁等,微观的有沉积粒径的差异、小生境等,可见底栖生物比浮游生物和游泳生物有着更丰富的生境多样性。本文针对泉州湾罴埔潮间带的不同地貌和沉积类型,探讨影响泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物群落的主要生态因子,为泉州湾潮间带大型底栖动物群落物种和生境多样性研究

提供基础资料,为泉州洛阳红树林自然保护区资源管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 泉州湾罴埔潮间带概况及站位设置

泉州湾罴埔潮间带位于丰海路南侧的滨海公园,靠陆一侧筑有海堤。潮间带近海堤是沙滩,根据水文观察,沙滩位于高潮带第 2 层(I 2),长(垂直海堤)和宽(平行海堤)分别约  $8\text{ m} \times 50\text{ m}$ 。牡蛎石泥滩位于中潮带第 2 层(II 2),长和宽分别为  $100\text{ m} \times 50\text{ m}$ 。互花米草滩位于中潮带第 1 层(II 1),它是在沙滩和牡蛎石泥滩交错带上长有 5 块面积不等的互花米草滩,最小的约  $20\text{ m}^2$ ,最大的约  $100\text{ m}^2$ 。2011 年 4 月(春季)、7 月(夏季)、10 月(秋季)和 2012 年 1 月(冬季),分别在上述 3 种生境进行大型底栖动物采样,每个潮层用  $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$  样框采集 5 个样框(图 1)。

### 1.2 样品处理和数据统计分析

调查方法与标本处理按《海洋调查规范》(GB/T12763.6—2007)和《海洋监测规范》(GB/17378.7—2007)进行。采样时,用  $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$  样框,在样框内取深  $30\text{ cm}$  的沉积物,每种生境采集 5 个样框,分别装入塑料袋,带到岸边水塘处,倒入桶内,加水搅拌,用孔径  $0.5\text{ mm}$  的套筛过滤,滤出的动物及余留的泥沙用 5% 甲醛固定,带回实验室在体视显微镜下进一步分选,然后分类鉴定和称重。

将鉴定所得的数据分别运用 Excel 软件统计,

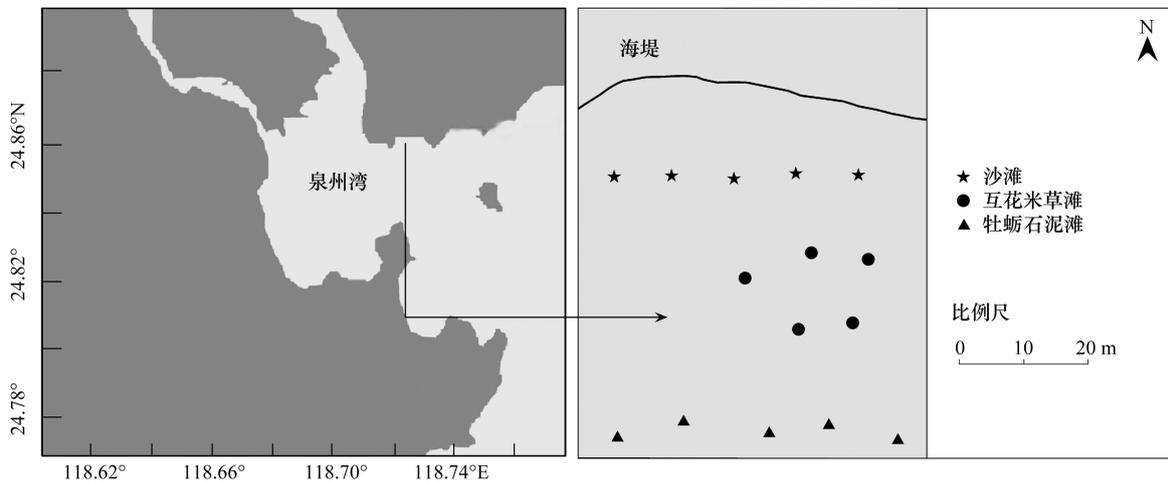


图1 泉州湾蛸埔潮间带大型底栖动物取样位置示意图

Fig.1 Sketch of macrobenthic sampling sites on intertidal zone in Xunpu, Quanzhou Bay

独立计算泉州湾蛸埔潮间带每个样框的大型底栖动物物种数、栖息密度(个/m<sup>2</sup>)、生物量(g/m<sup>2</sup>)、种类多样性指数( $H'$ )、均匀度指数( $J$ )和丰度指数( $d$ )。运用 SPSS 16.0 软件中的单变量双因素方差分析(Two-way ANOVA),比较不同生境和不同季节的大型底栖动物物种数、栖息密度、生物量、丰度指数、均匀度指数和多样性指数。各季度各生境的大型底栖动物物种数为实际统计值,大型底栖动物栖息密度、生物量、种类多样性指数、均匀度指数和丰度指数为5个样框的平均值,利用 Primer 5.0 软件计算各样框大型底栖动物群落的生物指数。同时以泉州湾蛸埔潮间带各样框的物种和栖息密度为矩阵,在 Primer 软件中进行平方根转化,计算 Bray-Curtis 相似性系数,然后进行 MDS 标序。在 MDS 标序分析中,Stress 均小于 0.2,图形中显示的样本间关系基本可信。

## 2 结果与分析

### 2.1 泉州湾蛸埔潮间带大型底栖动物群落的时空差异

2011年4月、7月、10月和2012年1月在泉州湾蛸埔潮间带的定量采集,共鉴定大型底栖动物85种,其中刺胞动物、扁形动物、纽形动物、星虫动物和脊索动物各1种,环节动物39种(多毛纲38种,寡毛纲1种),软体动物20种(腹足纲6种,双壳纲14种),甲壳动物21种。

春季(2011年4月),MDS分析表明泉州湾蛸埔潮间带大型底栖动物可分为3个群落,一是以刀额

新对虾(*Metapenaeus ensis*)(43.0%)为栖息密度优势种的群落,该群落分布的底质为沙滩;二是以加州中蚶虫(*Mediomastus californiensis*)(14.3%)为栖息密度优势种的群落,局部有高栖息密度的明季大眼蟹(*Macrophthalmus definitus*)(29.1%)幼体,该群落分布的底质为互花米草滩;三是以加州中蚶虫(11.3%)、寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)(38.7%)、昆士兰稚齿虫(*Prionospio queenslandica*)(6.1%)和侧底理蛤(*Theora lata*)(31.7%)为栖息密度优势种的群落,该群落分布的底质为牡蛎石泥滩(图2)。

夏季(2011年7月),MDS分析表明泉州湾蛸埔潮间带大型底栖动物可分为两个群落,一是以弧边招潮蟹(*Uca arcuata*)(39.7%)为栖息密度优势种的群落,该群落分布的底质为沙滩;二是以加州中蚶虫(47.0%)、寡鳃齿吻沙蚕(21.4%)和须稚齿虫(*Prionospio cirrifera*)(10.3%)为栖息密度优势种的群落,该群落分布的底质为互花米草滩和牡蛎石泥滩(图2)。

秋季(2011年10月),MDS分析表明泉州湾蛸埔潮间带大型底栖动物可分为两个群落,一是以弧边招潮蟹(47.9%)为栖息密度优势种的群落,该群落分布的底质为沙滩;二是以加州中蚶虫(42.6%)、寡鳃齿吻沙蚕(8.0%)和须稚齿虫(9.3%)为栖息密度优势种的群落,该群落分布的底质为互花米草滩和牡蛎石泥滩(图2)。

冬季(2012年1月),MDS分析表明泉州湾蛸埔

潮间带大型底栖动物可分为 3 个群落,一是以长吻沙蚕 (*Glycera chirori*) (41.2%)、加州中蚓虫 (17.6%) 和弧边招潮蟹 (19.3%) 为栖息密度优势种的群落,该群落分布的底质为沙滩;二是以加州中蚓虫 (19.8%)、刚鳃虫 (*Chaetozone setosa*) (22.1%) 和须稚齿虫 (22.1%) 为栖息密度优势种的群落,该群落分布的底质为互花米草滩;三是以加州中蚓虫 (31.1%) 和寡鳃齿吻沙蚕 (21.6%) 为栖息密度优势

种的群落,该群落分布的底质为牡蛎石泥滩(图 2)。

## 2.2 泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物群落物种数、栖息密度和生物量的时空差异

从生境分布看,泉州湾罴埔潮间带四季定量采集获得的大型底栖动物物种数互花米草滩最多,为 69 种,其次是牡蛎石泥滩,为 58 种,沙滩最少,为 41 种。从季节分布看,夏季最多,为 54 种,其次是冬季、秋季和春季,分别 46 种、36 种和 33 种(图 3)。

表 1 泉州湾罴埔潮间带的大型底栖动物名录

Table 1 The list of macrobenthos in intertidal zone in Xunpu, Quanzhou Bay

刺胞动物 Cnidaria	小健足虫 <i>Micropodarke dubia</i>	彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>
指海葵 <i>Actinia</i> sp.	腺带刺沙蚕 <i>Neanthes glandicineta</i>	红明樱蛤 <i>Moerella rutila</i>
扁形动物 Platyhelminthes	寡鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i>	小亮樱蛤 <i>Nitidotellina minuta</i>
薄扁涡虫 <i>Leptoplana</i> sp.	沙蚕 <i>Nereis</i> sp.	虹光亮樱蛤 <i>Nitidotellina iridella</i>
纽形动物 Nemertea	背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i>	光滑河蓝蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>
脑纽虫 <i>Cerebratulina</i> sp.	华丽角海蛳 <i>Ophelina grandis</i>	缢蛏 <i>Sinonovacula constricta</i>
环节动物 Annelida	双齿围沙蚕 <i>Perineris aibuhitensis</i>	侧底理蛤 <i>Theora lata</i>
中阿曼吉虫 <i>Amandia intermedia</i>	蛇杂毛虫 <i>Poecilochaetus serpens</i>	甲壳纲动物 Crustacea
白毛钩裂虫 <i>Ancistrosyllis pilargiformis</i>	凿贝才女虫 <i>Polydora cialn</i>	日本鼓虾 <i>Alpheus japonica</i>
双边帽虫 <i>Amphitene</i> sp.	须稚齿虫 <i>Prionospio cirrifera</i>	白脊藤壶 <i>Balanus albicostatus</i>
自裂虫 <i>Autolytus</i> sp.	昆士兰稚齿虫 <i>Prionospio queenslandica</i>	小眼绿虾蛄 <i>Clorida microphthalma</i>
小头虫 <i>Capitella capitata</i>	鳞腹钩虫 <i>Scolecipis squamata</i>	薄片螺赢蜚 <i>Corophium lamellatum</i>
红角沙蚕 <i>Ceratonereis erythraeensis</i>	膜囊尖锥虫 <i>Scoloplos marsupialis</i>	白虾 <i>Exopalaemon</i> sp.
刚鳃虫 <i>Chaetozone setosa</i>	马丁海稚虫 <i>Spio martinensis</i>	平背蜆 <i>Gaetice depressus</i>
双形拟单指虫 <i>Cossurella dimorpha</i>	沼蚓 <i>Limnodriloides</i> sp.	谭氏泥蟹 <i>Ilyoplax deschampsi</i>
新三齿巢沙蚕 <i>Diopatra neotridens</i>	星虫动物 Sipuncula	淡水泥蟹 <i>Ilyoplax tanshuiensis</i>
三角洲长须虫 <i>Eteone delta</i>	可口革囊星虫 <i>Phascolosoma esculenta</i>	涟虫 <i>Iphinoe</i> sp.
格鳞虫 <i>Gattyana</i> sp.	软体动物 Mollusca	齧颯天栉蟹 <i>Leipocten sordidulum</i>
长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	短拟沼螺 <i>Assiminea brevicula</i>	明秀大眼蟹 <i>Macrophthalmus definitus</i>
锥唇吻沙蚕 <i>Glycera onomichiensis</i>	中华圆田螺 <i>Cipangopaludina cahayensis</i>	刀额新对虾 <i>Metapenaeus ensis</i>
寡节甘吻沙蚕 <i>Glycinde gurjanovae</i>	金环螺 <i>ravadia</i> sp.	长足长方蟹 <i>Metaplax longipe</i>
角吻沙蚕 <i>Goniada emeriti</i>	粗糙滨螺 <i>Littorina articulate</i>	长腕和尚蟹 <i>Mictyris longicarpus</i>
等栉虫 <i>Isolda pulchella</i>	齿纹艇螺 <i>Nerita yoldii</i>	寄居蟹 <i>Pagurus</i> sp.
背鳞虫 <i>Lepidontes</i> sp.	石璜 <i>Onchidium verruculatum</i>	圆球股窗蟹 <i>Scopimera globosa</i>
扁蛩虫 <i>Loimia medusa</i>	巨牡蛎 <i>Crassostrea</i> sp.	褶痕相手蟹 <i>Sesarma plicata</i>
异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i>	青蛤 <i>Cyclina sinensis</i>	光背团水虱 <i>Sphaeroma retrolaevis</i>
短叶索沙蚕 <i>Lumbrineris latreilli</i>	中国绿螂 <i>Glaucome chinensis</i>	弧边招潮蟹 <i>Uca arcuata</i>
索沙蚕 <i>Lumbrineris</i> sp.	鸭嘴蛤 <i>Laternula anatine</i>	清白招潮蟹 <i>Uca lactea</i>
尖叶长手沙蚕 <i>Magelona cincta</i>	奇异智兔蛤 <i>Leporimetis spectabilis</i>	凹指招潮蟹 <i>Uca vocans</i>
太平洋长手沙蚕 <i>Magelona pacifica</i>	带偏顶蛤 <i>Modiolus comptus</i>	脊索动物 Chordata
加州中蚓虫 <i>Mediomastus californiensis</i>	偏顶蛤 <i>Modiolus</i> sp.	弹涂鱼 <i>Periophthalmus cantonensis</i>

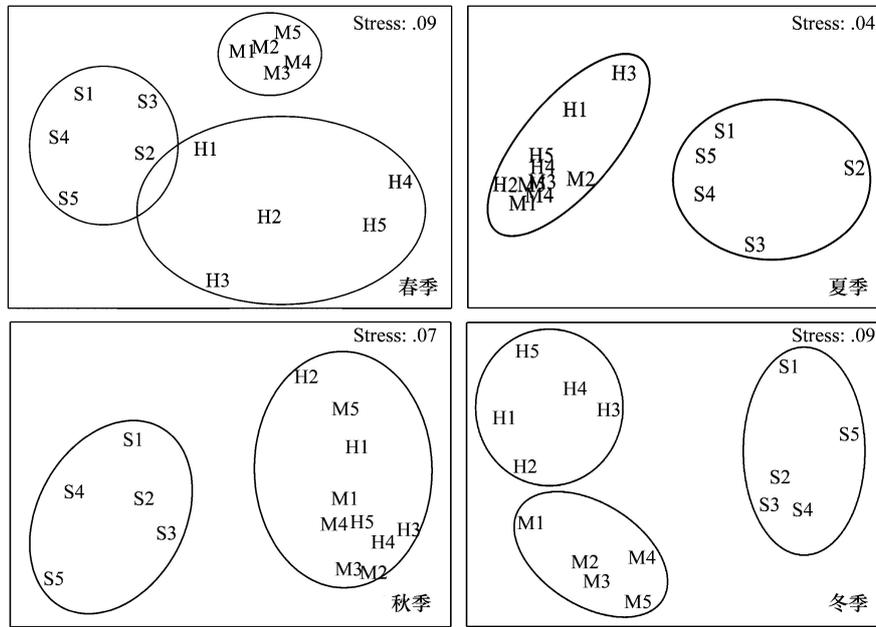


图2 泉州湾罴埔潮间带各季度大型底栖动物群落的 MDS 图

Fig.2 MDS analysis of macrobenthos among different seasons, Quanzhou Bay

S: 沙滩; H: 互花米草滩; M: 牡蛎石泥滩

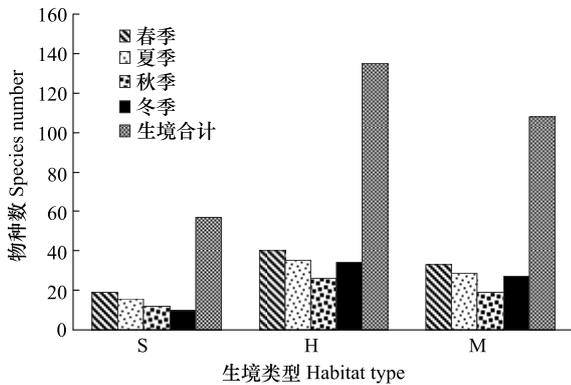


图3 泉州湾罴埔潮间带不同生境物种数的季节变化

Fig.3 Seasonal variation of macrobenthic species number in different habitats in Xunpu, Quanzhou Bay

四季平均的大型底栖动物栖息密度平均值为 1628 个/m<sup>2</sup>。从生境分布看,四季平均的栖息密度牡蛎石泥滩最高,为 2938.4 个/m<sup>2</sup>,其次是互花米草滩,为 1640.0 个/m<sup>2</sup>,沙滩栖息密度最低,为 306.4 个/m<sup>2</sup>(图 4)。从季节分布看,春季最高为 2894 个/m<sup>2</sup>,然后依次为夏季(1989 个/m<sup>2</sup>)、冬季(857 个/m<sup>2</sup>)和秋季(773 个/m<sup>2</sup>)。

四季平均的大型底栖动物生物量平均值为 87.1 g/m<sup>2</sup>。从生境分布看,牡蛎石泥滩四季平均的生物量最高,为 107.1 g/m<sup>2</sup>;其次是互花米草滩,为 80.8 g/m<sup>2</sup>;沙滩栖息密度最低,为 73.5 g/m<sup>2</sup>(图 5)。从季

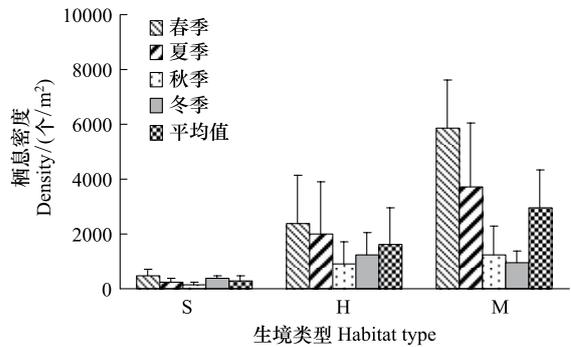


图4 泉州湾罴埔潮间带不同生境栖息密度季节变化

Fig.4 Seasonal variation of macrobenthic density in different habitats in Xunpu, Quanzhou Bay

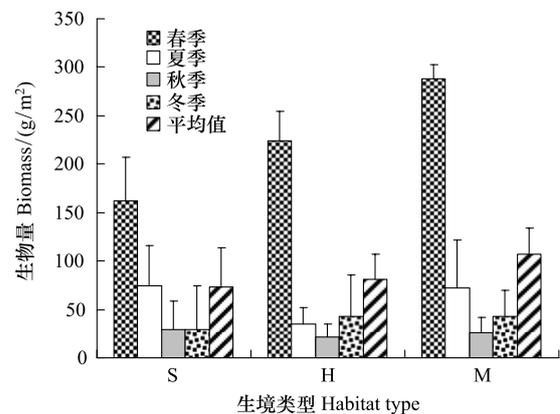


图5 泉州湾罴埔潮间带不同生境生物量季节变化

Fig.5 Seasonal variation of macrobenthic biomass in different habitats in Xunpu, Quanzhou Bay

节分布看,春季生物量最高为 224.4 g/m<sup>2</sup>,然后依次为夏季(60.5 g/m<sup>2</sup>)、冬季(38.2 g/m<sup>2</sup>)和秋季(25.4 g/m<sup>2</sup>)。

牡蛎石泥滩和互花米草滩大型底栖动物物种数的季节变化相似,均是春季最多,其次分别是夏季、冬季、秋季(图 3)。虽然牡蛎石泥滩、互花米草滩大型底栖动物栖息密度均是春季最高,但牡蛎石泥滩栖息密度冬季最低,而互花米草滩栖息密度则是秋季最低(图 4)。牡蛎石泥滩、互花米草滩大型底栖

动物生物量的季节变化略有不同,但均是春季最高,秋季最低(图 5)。

单变量双因素方差分析(Two-way ANOVA)表明,大型底栖动物的物种数、栖息密度有极显著的季节差异,生物量和丰度指数也有较显著季节差异,而多样性指数和均匀度指数没有明显的季节差异;在不同生境中,除生物量外,其余的大型底栖动物群落参数均有极显著差异。在季节×生境中,只有栖息密度和均匀度指数差异显著。

表 2 泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物参数单一变量双因素方差分析

Table 2 Univariate Two-way ANOVA tests of macrobenthic parameters in Xunpu, Quanzhou Bay

参数 Parameters	自由度 df	F	P	差异性 Significance	
物种数 Species number	季节 Season	3	8.254	<0.001	极显著差异
	生境 Habitat	2	44.812	<0.001	极显著差异
	季节×生境 Season×Habitat	6	0.806	0.570	无显著差异
栖息密度 Density	季节 Season	3	10.119	<0.001	极显著差异
	生境 Habitat	2	22.948	<0.001	极显著差异
	季节×生境 Season×Habitat	6	4.491	0.001	极显著差异
生物量 Biomass	季节 Season	3	3.026	0.038	显著差异
	生境 Habitat	2	1.030	0.365	无显著差异
	季节×生境 Season×Habitat	6	1.651	0.154	无显著差异
多样性指数 Species diversity index	季节 Season	3	2.479	0.072	无显著差异
	生境 Habitat	2	13.245	<0.001	极显著差异
	季节×生境 Season×Habitat	6	1.736	0.133	无显著差异
均匀度指数 Evenness index	季节 Season	3	1.372	0.263	无显著差异
	生境 Habitat	2	12.521	<0.001	极显著差异
	季节×生境 Season×Habitat	6	2.517	0.034	显著差异
丰度指数 Richness index	季节 Season	3	3.522	0.022	显著差异
	生境 Habitat	2	24.908	<0.001	极显著差异
	季节×生境 Season×Habitat	6	1.369	0.246	无显著差异

### 2.3 物种多样性指数( $H'$ )、均匀度指数( $J$ )和丰度指数( $d$ )的时空差异

泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物种类多样性指数( $H'$ )的季度均值为 2.907。冬季(3.069)最高,其次分别是春季(3.044)、夏季(2.771)、秋季(2.744)。不同生境中,互花米草滩生境的多样性指数最高,为 3.362,其次分别为沙滩生境(2.749)和牡蛎石泥滩生境(2.610)(图 6)。

大型底栖动物均匀度指数的季度均值为 0.654,冬季的大型底栖动物均匀度指数最高,为 0.701;其次分别为秋季(0.672)、春季(0.642)和夏季(0.603)。沙滩生境均匀度指数最高,为 0.731;其次

分别为互花米草滩(0.677)和牡蛎石泥滩(0.555)(图 6)。

大型底栖动物丰度指数的季度均值为 3.929,春季的大型底栖动物丰度指数最高,为 4.247,其次分别为夏季(4.246)、冬季(3.996)和秋季(3.225);各季度之间的丰度指数值分别为,沙滩(2.899)、互花米草滩(4.975)牡蛎石泥滩(3.912)(图 6)。

## 3 讨论

### 3.1 滩涂地貌对泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物群落的影响

黄睿婧等在广州南沙十四涌潮间带大型底栖动

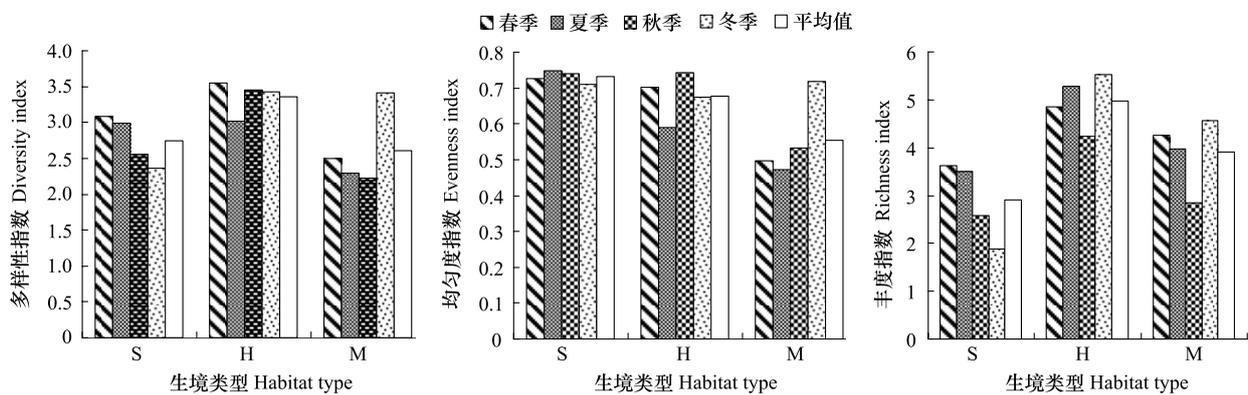


图6 泉州湾蠃埔潮间带不同生境多样性指数、均匀度指数和丰富度指数的季节变化

Fig.6 Seasonal variation of macrobenthic species diversity, evenness and richness indices in different habitats in Xunpu, Quanzhou Bay

物群落结构研究中认为,光滩、海桑和茳茳3种生境的大型底栖动物物种数、栖息密度均呈显著差异<sup>[6]</sup>,陈昕韡等发现漳江口互花米草生境与桐花树、白骨壤和秋茄3种红树林生境的多毛类优势种不同<sup>[7]</sup>,可见,生境是影响潮间带大型底栖动物分布的重要因素。在云霄漳江口,互花米草生境多毛类物种数比秋茄生境、白骨壤生境和桐花树生境的多<sup>[7]</sup>。仇乐等<sup>[8]</sup>认为新生互花米草生境大型底栖动物的物种数和丰富度较高,但随着时间的推移及互花米草的生长,米草生境中的大型底栖动物的物种数及多样性都会下降。在软相底质掩埋的死亡的海藻和海草可以增加有机质含量,因而改变了沉积物的物理结构,从而影响沉积物中大型底栖动物群落的组成和结构<sup>[9]</sup>。泉州湾蠃埔潮间带大型底栖动物物种数没有随着潮层降低而增加,而是中潮带第1层(II1)的大型底栖动物物种数多于高潮带第2层(I2)和中潮带第2层(II2),即互花米草滩的大型底栖动物物种数多于沙滩和牡蛎石泥滩。可见,滩涂地貌是影响泉州湾蠃埔潮间带大型底栖动物物种数的重要因子。互花米草滩是沙滩和牡蛎石泥滩的交错带,沉积物粒径介于沙滩和牡蛎石泥滩之间,且有互花米草遮蔽,有利于大型底栖动物的栖息,例如,在牡蛎石泥滩和互花米草滩,夏季寡鳃齿吻沙蚕栖息密度分别为755.2个/m<sup>2</sup>和473.6个/m<sup>2</sup>,但在沙滩没有采集到寡鳃齿吻沙蚕;而在互花米草滩和沙滩,秋季双壳类的中国绿螂(*Glaucome chinensis*)栖息密度分别是6.4个/m<sup>2</sup>和12.8个/m<sup>2</sup>,但在牡蛎石泥滩没有采集到中国绿螂。

Hedge等<sup>[10]</sup>研究认为互花米草区底栖无脊椎动

物栖息密度和丰富度要高于邻近的普通滩涂,但洪荣标等<sup>[11]</sup>的研究结果表明互花米草区大型底栖动物的栖息密度、种类多样性、丰富度比相邻的普通滩涂低。聚类的结果揭示了潮间带光滩和互花米草丛有明显的分化,潮汐和互花米草是影响大型底栖动物群落结构的两个重要因素<sup>[12]</sup>。海洲湾潮间带有岩礁、泥沙滩、沙滩等底质类型,大型底栖动物的种类、生物量、栖息密度和群落结构特征均呈现明显的差异<sup>[13]</sup>。红树林植被有益于红树林生态系统的生境复杂性以及底栖动物的多样性<sup>[14]</sup>。红树植物的凋落物直接或间接地位一些底栖动物提供营养来源<sup>[15]</sup>。互花米草植被也有与红树林植被相似的功能,即为大型底栖动物提供遮阴和营养来源。

夏季潮间带互花米草丛的大型底栖动物物种数较少,仅2种,这是因为夏季互花米草长势良好,根系发达,过密的根系可能会影响大型底栖动物的分布<sup>[16]</sup>。长江口九段沙潮间带互花米草丛的大型底栖动物栖息密度和生物量冬季最高,因为冬季互花米草枯萎后在土壤中积累了大量的有机碎屑为大型底栖动物提供了充足的食物来源<sup>[17]</sup>。泉州湾蠃埔潮间带互花米草滩大型底栖动物栖息密度和生物量的季节变化与长江口九段沙潮间带互花米草丛大型底栖动物栖息密度和生物量的季节变化不一样,泉州湾蠃埔潮间带互花米草滩的大型底栖动物物种数是秋季最低。这种差别与地理分布有关,在福建和广东沿海,春季大多数底栖动物进入生殖繁殖期,如漳江口互花米草生境春季的多毛类栖息密度和生物量高于其他3个季节<sup>[7]</sup>,深圳湾河口潮间带泥滩多毛类栖息密度和生物量也是春季最高<sup>[18]</sup>。

### 3.2 潮汐对泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物群落的影响

潮间带不同潮区每天暴露于空气中的时间显然不同,各种理化环境因子对生物的影响也有很大的差别<sup>[19]</sup>。九龙江口红树林区大型底栖动物呈现明显的分层现象,并随着潮间带不同的高度具有不同的生物垂直分布带,这主要是潮汐作用的结果,如中国绿螂主要分布在九龙江口海门岛高潮区<sup>[19]</sup>。在泉州湾罴埔潮间带,中国绿螂常见于高潮区第一层(沙滩),少见于中潮区第一层(互花米草滩)。除了低潮区外,夏、秋季泉州湾罴埔潮间带高、中潮区大型底栖动物可分为2个生物带,春、冬季可分为3个生物带,如冬季高潮区第二层的长吻沙蚕-加州中蠕虫-弧边招潮蟹带(群落);中潮区第一层的加州中蠕虫-刚鳃虫-须稚齿虫带;中潮区第二层的加州中蠕虫-寡鳃齿吻沙蚕带。可见,泉州湾罴埔潮间带受潮汐影响明显,因而也呈现垂直分带现象。

从高潮带向低潮带,物种数、密度和生物量会不断增高<sup>[20]</sup>,较低潮带的物种数和栖息密度较大<sup>[21]</sup>。在长江口横沙岛、长兴岛潮间带,不同潮位间大型底栖动物的总平均栖息密度具有显著差异,而总平均生物量差异不显著<sup>[22]</sup>。泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物栖息密度和生物量的分布与长江口横沙岛、长兴岛潮间带的结果一致,即在不同潮层中,除生物量外,其余的大型底栖动物群落参数(物种数、栖息密度、多样性指数、均匀度指数和丰度指数)均有极显著差异。泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物栖息密度和生物量的分布也与美国缅因州东部汉考克(Hancock)和华盛顿(Washington)海岸潮间带大型底栖动物群落的分布相似,在整个贻贝床的不同空间里,大型底栖动物群落变化很大<sup>[23]</sup>。可见,潮汐是影响泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物栖息密度和生物量的主要环境因子。高潮区的种类很少,但是它们的生物量并不低,这是由于种间食物和空间竞争减少,使能适应高潮区环境的种类得以发展的缘故<sup>[19]</sup>。

可见,潮汐、沉积物粒径和生境是影响潮间带大型底栖动物群落的主要因素。潮汐和生境导致潮间带的空间异质性,空间异质性导致大型底栖动物群落的差异。

### References:

- [ 1 ] Xie J J. Primary Investigation on the Coastal Molluscous from Quanzhou Estuarine Wetland Nature Reserve, Fujian. Journal of Quanzhou Normal College ( Natural Science ), 2002, 20 ( 6 ): 66-70.
- [ 2 ] Huang Z G. Biodiversity on marine estuarine wetland, Beijing: Ocean Press, 2004: 131-175.
- [ 3 ] Zheng C X, Li R G, Jiang J X, Zheng F W, Wang J J, Huang X G, Lin J H. An ecological study on the benthos of the rocky intertidal zone in Quanzhou Bay. I. Species diversity and its distribution. Biodiversity Science, 2004, 12(6): 594-610.
- [ 4 ] Liu R C. Mangrove in Hui-an Luoyang, China, Beijing: China Forestry Publishing House, 2010: 131-166.
- [ 5 ] Huang Y Q, Li R G, Jiang J X. Biodiversity and distribution of mollusc around the Luoyangjiang River mangrove nature reserve. Marine Science, 2011, 35(10): 111-116.
- [ 6 ] Huang R J, Cai L Z, Ye J Q, Zhou X P, Liu S, Xu P, Peng X, Cao J. Macrofaunal community at three habitats in the 14th Yong intertidal zone of Nansha, Guangzhou. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(6): 1187-1192.
- [ 7 ] Chen X W, Cai L Z, Wu C, Peng X, Cao J, Xu P, Liu S, Fu S J. Polychaete community in mangrove and salt marsh in Zhangjiang River Estuary, Fujian Province of East China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(4): 931-938.
- [ 8 ] Qiu L, Liu J E, Chen J Q, Wang G X, Chang Q. Impacts of *Spartina alterniflora* invasion on the macrobenthos communities of Jiangsu's coastal wetlands. Marine Science, 2010, 34 ( 8 ): 50-55.
- [ 9 ] Celia O, Monica I, Josefiina G, Francesca R. The effect of wrack composition and diversity on macrofaunal assemblages in intertidal marine sediments. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2010, 396: 18-26.
- [ 10 ] Hedge P, Kriwoken L K. Evidence for effects of *Spartina anglica* invasion on benthic macrofauna in Little Swanport estuary. Tasmania Austral Ecology, 2000, 25: 150-159.
- [ 11 ] Hong R B, Lü X M, Chen L, Fang S H. Benthos on mangrove wetland and smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) wetland in Jiulongjiang estuary. Journal of Oceanography Taiwan Strait, 2005, 24(3): 189-194.
- [ 12 ] Hou S L, Yu X Y, Lu C H. Spatial distribution and seasonal variation of macrobenthos in intertidal flat of Sheyang estuary, Yancheng Nature Reserve. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30 ( 2 ): 297-303.
- [ 13 ] Gao A G, Yang J Y, Zeng J N, Shou L, Liao Y B, Xu X Q, Chen Q Z, Hu X G. Distribution of the intertidal macrobenthos in the Haizhouwan Bay. Journal of Marine Sciences, 2009, 27(1): 22-29.
- [ 14 ] Ye Y, Weng J, Lu C Y, Chen G C. Mangrove biodiversity restoration. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(4): 1243-1250.
- [ 15 ] Fratini S, Cannicci S, Vannini M. Feeding clusters and olfaction in the mangrove snail *Terebralia palustris* ( Linnaeus ) ( Potamididae: Gastropoda ). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2001, 261: 173-183.

- [16] Zhu X J, Qin P. The Alien Species *Spartina alterniflora* and *Spartina* Ecoengineering, *Maine Sciences*, 2003, 27(12): 14-19.
- [17] Zhou X, Wang T H, Ge Z M, Shi W Y, Zhou L Z. Impact of *Spartina alterniflora* invasion on the macrobenthos community of Jiuduansha's intertidal mudflat in the Yangtze River estuary. *Biodiversity Sciences*, 2006, 14(2): 165-171.
- [18] Cai L Z, Li H M, Lin P. Analysis of Environmental Effect and Polychaete Quantitative Variations on Intertidal Mudflat in Shenzhen Estuary. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2001, 40(3): 741-750.
- [19] He M H, Cai E X, Xu H Z, Jiang J X, Zheng F W, Li R G. Studies on benthic ecology in mangrove in Jiulong River Estuary, Fujian. *Journal of Oceanography Taiwan Strait*, 1993, 12(1): 61-68.
- [20] Edgar G J, Barrett N S. Benthic macrofauna in Tasmanian estuaries: Scales of distribution and relationships with environmental variables. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 270: 1-24.
- [21] Honkoop P J C, Pearson G B, Lavaleye M S S, Piersma T. Spatial variation of the intertidal sediments and macrozoobenthic assemblages along Eighty mile Beach, Northwestern Australia. *Journal of Sea Research*, 2006, 55: 278-291.
- [22] Tao S R, Jiang L F, Wu J H, Zhao B, Li B. Community characteristics and seasonal changes of macrozoobenthos in intertidal zones of Hengshan and Changxing islands at Yangtze River estuary. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(7): 1345-1350.
- [23] John A C, Serena C, Benjamin M G, Wendy E D. Species diversity in the soft-bottom intertidal zone: Biogenic structure, sediment and macrofauna across mussel bed spatial scales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2008, 366: 70-81.
- (6): 594-610.
- [4] 刘荣成. 中国惠安洛阳红树林. 北京: 中国林业出版社, 2010: 131-166.
- [5] 黄雅琴, 李荣冠, 江锦祥. 泉州湾洛阳江红树林自然保护区潮间带软体动物多样性及分布. *海洋科学*, 2011, 35(10): 111-116.
- [6] 黄睿婧, 蔡立哲, 叶洁琼, 周细平, 刘莎, 许鹏, 彭欣, 曹婧. 广州南沙十四涌潮间带三种生境的大型底栖动物群落比较. *生态学杂志*, 2010, 29(6): 1187-1192.
- [7] 陈昕韡, 蔡立哲, 吴辰, 彭欣, 曹婧, 许鹏, 刘莎, 傅素晶. 福建漳江口红树林和盐沼湿地的多毛类动物群落. *应用生态学报*, 2012, 23(4): 931-938.
- [8] 仇乐, 刘金娥, 陈建琴, 王国祥, 常青. 互花米草扩张对江苏海滨湿地大型底栖动物的影响. *海洋科学*, 2010, 34(8): 50-55.
- [11] 洪荣标, 吕小梅, 陈岚, 方少华. 九龙江口红树林湿地与米草湿地的底栖动物. *台湾海峡*, 2005, 24(2): 189-194.
- [12] 侯森林, 余晓韵, 鲁长虎. 盐城自然保护区射阳河口潮间带大型底栖动物空间分布与季节变化. *生态学杂志*, 2011, 30(2): 297-303.
- [13] 高爱根, 杨俊毅, 曾江宁, 寿鹿, 廖一波, 徐晓群, 陈全震, 胡锡钢. 海洲湾潮间带大型底栖动物的分布特征. *海洋学研究*, 2009, 27(1): 22-29.
- [14] 叶勇, 翁劲, 卢昌义, 陈光程. 红树林生物多样性恢复. *生态学报*, 2006, 26(4): 1243-1250.
- [16] 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.
- [17] 周晓, 王天厚, 葛振鸣, 施文或, 周立辰. 长江口九段沙湿地不同生境中大型底栖动物群落结构特征分析. *生物多样性*, 2006, 14(2): 165-171.
- [18] 蔡立哲, 厉红梅, 林鹏. 深圳河口潮间带泥滩多毛类的数量变化及环境影响. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2001, 40(3): 741-750.
- [19] 何明海, 蔡尔西, 徐惠州, 江锦祥, 郑凤武, 李荣冠. 九龙江口红树林区底栖动物的生态. *台湾海峡*, 1993, 12(1): 61-68.
- [22] 陶世如, 姜丽芬, 吴纪华, 赵斌, 李博. 长江口横沙岛、长兴岛潮间带大型底栖动物群落特征及其季节变化. *生态学杂志*, 2009, 28(7): 1345-1350.

#### 参考文献:

- [1] 谢进金. 福建泉州湾河口湿地潮间带贝类调查. *泉州师范学院学报: 自然科学版*, 2002, 20(6): 66-70.
- [2] 黄宗国. 海洋河口湿地生物多样性. 北京: 海洋出版社, 2004: 131-175.
- [3] 郑成兴, 李荣冠, 江锦祥, 郑凤武, 王建军, 黄心光, 林俊辉. 泉州湾岩相潮间带底栖生物生态研究. *生物多样性*, 2004, 12

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.5 Mar., 2014 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- Advance in the study on drought index ..... LI Bozhen, ZHOU Guangsheng (1043)
- State-of-the-art review of the impact of climatic change on bioavailability of mineral elements in crops .....  
..... LI Longqing, WU Zhengyun, ZHANG Qiang, et al (1053)
- Mechanism, hypothesis and evidence of herbivorous insect-host interactions in forest ecosystem .....  
..... ZENG Fanyong, SUN Zhiqiang (1061)
- Approach of nematode fauna analysis indicate the structure and function of soil food web .....  
..... CHEN Yunfeng, HAN Xuemei, LI Yufei, et al (1072)
- A spatial econometric analysis of water footprint intensity convergence on a provincial scale in China .....  
..... ZHAO Liangshi, SUN Caizhi, ZHENG Defeng (1085)
- Pattern dynamics of vegetation coverage of Plateau Valley-City in the Western China; a case study in Xining .....  
..... GAO Yun, XIE Miaomiao, FU Meichen, et al (1094)
- Scale effect analysis of the influence of land use and environmental factors on surface soil organic carbon; a case study in the  
hilly and gully area of Northern Shaanxi Province ..... ZHAO Mingyue, ZHAO Wenwu, ZHONG Lina (1105)
- Effects of *Eisenia foetida* and *Amyntas morrisi* on the chemical and biological properties of soil amended with the paper mill  
sludge ..... CHEN Xufei, ZHANG Chi, DAI Jun, et al (1114)

**Autecology & Fundamentals**

- Regulation of potassium supply and signal inhibitors on acetate effluxes by ectomycorrhizal fungi .....  
..... YANG Hongjun, LI Yong, YUAN Ling, et al (1126)
- Arsenic induces guard cell death in leaf epidermis of *Vicia faba* ..... XUE Meizhao, YI Huilan (1134)
- Identification and characteristics of phenol degrading bacteria ad049 screened from oil contaminated soil .....  
..... HU Ting, GU Jie, ZHEN Lisha, YANG Jiu, et al (1140)
- Physiological response of *Medicago sativa* L. to copper stress by FTIR spectroscopy .....  
..... FU Chuan, YU Shunhui, HUANG Yimin, et al (1149)
- Effects of sowing date on 2-acetyl-1-pyrroline content and yield of late season aromatic rice .....  
..... YANG Xiaojuan, TANG Xiangru, WEN Xiangcheng, et al (1156)
- Effects of exogenous calcium (Ca) on tolerance of *Allium cepa* var. *agrogarum* L. to cadmium (Cd) stress .....  
..... WANG Qiaoling, ZOU Jinhua, LIU Donghua, et al (1165)
- The study of *Vitex negundo* shrubs canopy biomass inversion in Beijing Jundu mountainous area based on vegetation indices .....  
..... GAO Mingliang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1178)
- Comparison study of sulfur dioxide resistance of three warm-season turf grasses ..... LI Xi, WANG Lihua, LIU Wei, et al (1189)
- Geostatistical analysis on spatial dynamics of the apterous *Myzus persicae* in flue-cured tobacco fields of Enshi tobacco area, China ...  
..... XIA Pengliang, WANG Rui, WANG Changjun, et al (1198)
- Patterns of seed predation and removal of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) by rodents .....  
..... ZHANG Jinghong, LIU Bingwan (1205)
- Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry of dominant  
plants and soil in alpine meadow ..... LI Qianqian, ZHAO Xu, GUO Zhenggang (1212)

Overcompensation and competitive effects of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus* after low temperature and light stresses ..... XIE Xiaoling, ZHOU Rong, DENG Zifa (1224)

### Population, Community and Ecosystem

The main nest predators of birds breeding in artificial nest-boxes and its influencing factors ..... ZHANG Lei, LI Donglai, MA Ruiqiang, et al (1235)

Temporal and spatial variation of macrobenthic communities in the intertidal zone of Xunpu, Quanzhou Bay ..... ZHUO Yi, CAI Lizhe, GUO Tao, et al (1244)

The influence of variables at different scales on stream benthic macroinvertebrates in Luanhe River Basin ..... ZHANG Haiping, WU Dayong, WANG Zhaoming, et al (1253)

Relationships between environmental variables and seasonal succession in phytoplankton functional groups in the Hulan River Wetland ..... LU Xinxin, LIU Yan, FAN Yawen (1264)

Habitat assessment of sika deer (*Cervus nippon*) in the Taohongling National Nature Reserve, Jiangxi Province, China ..... LI Jia, LI Yankuo, MIAO Lujun, et al (1274)

### Landscape, Regional and Global Ecology

The comprehensive geographical regionalization of China supporting natural conservation ..... GUO Ziliang, CUI Guofa (1284)

Response of vegetation coverage to climate change in Mongolian Plateau during recent 10 years ..... MIAO Lijuan, JIANG Chong, HE Bin, et al (1295)

Impact analysis of human activities and climate change on Honghu lake's spring drought ..... LIU Kequn, LIANG Yitong, ZHOU Jinlian, et al (1302)

Lakes evolution of central Wuhan during 2000 to 2010 ..... DAN Yongli, WANG Hongzhi, ZHANG Huan, et al (1311)

### Resource and Industrial Ecology

The spatial distribution of *Ophiocordyceps sinensis* suitability in Sanjiangyuan Region ..... LI Fen, WU Zhifeng, XU Cui, et al (1318)

# 《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 象伟宁 编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报  
(SHENGTAI XUEBAO)  
(半月刊 1981 年 3 月创刊)  
第 34 卷 第 5 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 34 No. 5 (March, 2014)

编 辑 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松  
主 管 中国科学技术协会  
主 办 中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂  
发 行 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局  
国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号  
许 可 证

Edited by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel: (010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong  
Supervised by China Association for Science and Technology  
Sponsored by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China  
Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元