

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

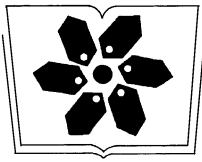
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 10 期 Vol.32 No.10 **2012**

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 32 卷 第 10 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目次

基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响.....	李旋旗,花利忠 (2965)
居住-就业距离对交通碳排放的影响	童抗抗,马克明 (2975)
经济学视角下的流域生态补偿制度——基于一个污染赔偿的算例	刘涛,吴钢,付晓 (2985)
旅游开发对上海滨海湿地植被的影响.....	刘世栋,高峻 (2992)
汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响.....	廖丽欢,徐雨,冉江洪,等 (3001)
江西省森林碳蓄积过程及碳源/汇的时空格局.....	黄麟,邵全琴,刘纪远 (3010)
伊洛河流域草本植物群落物种多样性.....	陈杰,郭屹立,卢训令,等 (3021)
新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性.....	顾美英,徐万里,茆军,等 (3031)
荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性.....	贺学礼,陈杰,郭辉娟,等 (3041)
彰武松、樟子松光合生产与蒸腾耗水特性	孟鹏,李玉灵,尤国春,等 (3050)
中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素.....	刘强,杨智杰,贺旭东,等 (3061)
盐土和沙土对新疆常见一年生盐生植物生长和体内矿质组成的影响	张科,田长彦,李春俭 (3069)
长白山北坡林线灌木草本植物与岳桦的动态关系.....	王晓东,刘惠清 (3077)
不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响.....	颜侃,陈宗瑜 (3087)
基于因子分析的首蓿叶片叶绿素高光谱反演研究	肖艳芳,官辉力,周德民 (3098)
三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态.....	王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,等 (3107)
三种利用方式对羊草草原土壤氨氧化细菌群落结构的影响.....	邹雨坤,张静妮,陈秀蓉,等 (3118)
西洋参根残体对自身生长的双重作用	焦晓林,杜静,高微微 (3128)
不同程度南方菟丝子寄生对入侵植物三叶鬼针草生长的影响	张静,闫明,李钧敏 (3136)
山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价.....	张菊,陈诗越,邓焕广,等 (3144)
太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响.....	刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等 (3154)
不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替.....	唐以杰,方展强,钟燕婷,等 (3160)
江西鄱阳湖流域中华秋沙鸭越冬期间的集群特征.....	邵明勤,曾宾宾,尚小龙,等 (3170)
秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响	常罡,王开锋,王智 (3177)
内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的昼夜节律	王鲁平,周顺,孙国强 (3182)
温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响.....	李庆,吴蕾,杨刚,等 (3189)
“双季稻-鸭”共生生态系统 C 循环	张帆,高旺盛,隋鹏,等 (3198)
水稻籽粒灌浆过程中蛋白质表达特性及其对氮肥运筹的响应.....	张志兴,陈军,李忠,等 (3209)
专论与综述	
海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展	张瑜斌,章洁香,孙省利 (3225)
海洋酸化效应对海水鱼类的综合影响评述.....	刘洪军,张振东,官曙光,等 (3233)
入侵种薇甘菊防治措施及策略评估.....	李鸣光,鲁尔贝,郭强,等 (3240)
研究简报	
渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究	孙倩,塔西甫拉提·特依拜,张飞,等 (3252)
2009 年冬季东海浮游植物群集	郭术津,孙军,戴民汉,等 (3266)
新疆野生多伞阿魏生境土壤理化性质和土壤微生物.....	付勇,庄丽,王仲科,等 (3279)
塔里木盆地塔里木沙拐枣群落特征	古丽努尔·沙比尔哈孜,潘伯荣,段士民 (3288)
矿区生态产业共生系统的稳定性.....	孙博,王广成 (3296)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-05	



封面图说: 哈巴雪山和金沙江——“三江并流”自然景观位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,由怒江、澜沧江、金沙江及其流域内的山脉组成。它地处东亚、南亚和青藏高原三大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区,也是世界上生物物种最丰富的地区之一。哈巴雪山在金沙江左岸,与玉龙雪山隔江相望。图片反映的是金沙江的云南香格里拉段,远处为哈巴雪山。哈巴雪山主峰海拔 5396 m,而最低江面海拔仅为 1550 m,山脚与山顶的气温差达 22.8℃,巨大的海拔差异形成了明显的高山垂直性气候。

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

DOI: 10.5846/stxb201104210525

唐以杰, 方展强, 钟燕婷, 张再旺, 陈康, 安东, 杨雄邦, 廖宝文. 不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替. 生态学报, 2012, 32(10): 3160-3169.

Tang Y J, Fang Z Q, Zhong Y T, Zhang Z W, Chen K, An D, Yang X B, Liao B W. Succession of macrofauna communities in wetlands of *Sonneratia apetala* artificial mangroves during different ecological restoration stages. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3160-3169.

不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中 大型底栖动物群落的演替

唐以杰², 方展强^{1,*}, 钟燕婷¹, 张再旺¹, 陈康^{1,2}, 安东³, 杨雄邦³, 廖宝文⁴

(1. 华南师范大学生命科学学院, 广东省高等学校生态与环境科学重点实验室, 广州 510631;

2. 广东第二师范学院生物系, 广州 510303; 3. 珠海淇澳-担杆岛省级自然保护区管理处, 珠海 519000;

4. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520)

摘要:对广东省珠海市淇澳岛红树林自然保护区恢复背景相同的 6 个月林龄、3a 林龄、6a 林龄无瓣海桑人工林和光滩湿地中的大型底栖动物群落进行了比较研究。结果显示:处于不同生态恢复阶段的无瓣海桑人工林林地中大型底栖动物优势种 ($Y > 0.02$) 存在差异;相似性分析检验(One-Way ANOSIM)表明 4 种生境间大型底栖动物群落结构差异显著。等级聚类和非参数多变量标序也显示 4 种生境间的大型底栖动物群落结构差异显著。相似性百分比分析(SIMPER)显示,各生境动物群落主要特征及群落间的差异主要是受各生境大型底栖动物优势种所决定。研究结果还表明:光滩、6 个月林龄、3a 林龄无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数呈上升趋势,这说明无瓣海桑种植的前 3a,随着植被的迅速恢复,大型底栖动物多样性增加明显。BIOENV 分析结果表明:3a 林龄之前的无瓣海桑人工林湿地中,大型底栖动物物种多样性主要受植被特征的影响,快速恢复的植被提供了荫蔽,既减轻了高温和水分蒸发对大型底栖动物的胁迫,又给动物提供了一个躲藏和逃避敌害的场所。而相对于植被的快速恢复,无瓣海桑人工林林地土壤理化性质的改变要缓慢和滞后得多。但随着恢复时间的延长,6a 林龄无瓣海桑人工林湿地中的大型底栖动物群落的上述 3 个物种多样性指数反而明显下降。这是由于 6a 林龄无瓣海桑人工林林地土壤已具有红树林酸性硫酸盐土的基本特征,林地土壤理化性质的显著变化影响了大型底栖动物群落,还可能与无瓣海桑提供了和乡土红树植物不同营养水平(如 C/N 比)和单宁含量的“凋零物”食物源有关,具体机制还需进一步研究。

关键词: 红树林;无瓣海桑;大型底栖动物;物种多样性;珠海

Succession of macrofauna communities in wetlands of *Sonneratia apetala* artificial mangroves during different ecological restoration stages

TANG Yijie², FANG Zhanqiang^{1,*}, ZHONG Yanting¹, ZHANG Zaiwang¹, CHEN Kang^{1,2}, AN Dong³, YANG Xiongbang³, LIAO Baowen⁴

1 Key Laboratory of Ecology and Environmental Science in Guangdong Higher Education, College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China

2 Department of Biology, Guangdong University of Education, Guangzhou 510303, China

3 Administrative Office of Zhuhai Qi'ao-Dangan Island Provincial Nature Reserve, Zhuhai, 519000, China

4 The Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China

基金项目:广东省科技计划项目(2009B030600006);国家科技支撑计划项目(2009BADB2B0401-02);广东第二师范学院教授博士科研专项经费研究项目(10ARF01)

收稿日期:2011-04-21; 修订日期:2011-08-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fangzhq@senu.edu.cn

Abstract: The study was conducted to compare the differences of macrofauna communities of wetlands at 6-month, 3-year and 6-year forest age of *Sonneratia apetala* artificial mangroves whose restoration background had been the same and the naked tidal flat in Qi'ao Island Mangrove Nature Reserve of Zhuhai, Guangdong Province, China. The results showed that there were significant differences in dominant species of macrofauna ($Y > 0.02$) in wetlands of *S. apetala* artificial mangroves during different ecological restoration stages. The analysis of One-way ANOSIM showed that there were significant structural differences in macrofauna communities in the four kinds of habitats. The analysis of hierarchical clustering and non-metric Multi-Dimensional Scaling also showed that the structure of macrofauna communities in the four habitats had significant differences. Similarity percentages analysis (SIMPER) showed that the main species which caused the differences of macrofauna communities in different habitats were the dominant species of macrofauna of each habitat. The results also showed that Shannon-Wiener diversity index, Pielou evenness index and Margalef richness index of macrofauna communities from the naked tidal flat, 6-month and 3-year forest age of *S. apetala* artificial mangroves were presented from low to high respectively, which indicated that macrofauna diversity had increased obviously with the rapid vegetation recovery in the first 3 years of *S. apetala* artificial mangroves. BIOENV analysis showed that the vegetation characteristics were the main reason which influenced the species diversity of macrofauna during the first 3-year forest age of the *S. apetala* artificial mangroves. The shade provided by the vegetation of rapid recovery may not only reduce the stress to macrofauna caused by high temperature and the moisture evaporation, but also provide a place for macrofauna to hide and escape predators. However, the change of soil physical and chemical properties of *S. apetala* artificial mangroves is slow and lagging compared with the rapid recovery of vegetation. However, with the elongation of recovery time, the macrofauna diversity index was significantly decreased at 6-year forest age of *S. apetala* artificial mangroves. This is due to the fact that the soil of 6-year forest age of *S. apetala* artificial mangroves already has the basic characteristics of acid sulfate soils of mangroves, and the physical and chemical properties of the soil which have been changed significantly has affected the macrofauna communities. It might also be caused by the different food sources (leaf-litters) provided by *S. apetala*, which have different nutrient levels (such as C/N ratio) and tannin content, compared with indigenous mangrove plant. Specific mechanisms about them needs further study.

Key Words: mangrove; *Sonneratia apetala*; macrofauna; species diversity; Zhuhai

无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)从1985年自孟加拉引种我国海南岛,90年代从海南引种到广东、广西、福建等地。由于该树种适应性强、生长迅速,近年已成为我国华南沿海滩涂红树林造林的重要树种^[1],但随着无瓣海桑的快速生长及引种面积不断扩大,其林下湿地中大型底栖动物群落生态修复的情况如何?尚未见报道。目前红树林恢复研究多停留在植被恢复的水平上,即植被覆盖成为唯一目标,红树林植被恢复对其它生物包括底栖动物生态修复方面的研究几乎空白^[2]。大型底栖动物作为红树林生态系统中物质循环、能量流动积极的消费者和转移者,对红树林生态系统的生态功能有重要意义。大型底栖动物的多样性和丰度对天然和人工恢复红树林的生境变化均具有潜在的生物、生态指示作用。鉴于此,本研究通过比较恢复背景相同、林龄不同的无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落之间的差异,探索无瓣海桑种植后,底栖动物亚系统演替的情况,以及影响大型底栖动物群落结构和物种多样性的主要环境因子,探讨滩涂红树林造林后底栖动物群落的生态响应。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区位于广东省珠海市淇澳岛红树林自然保护区(东经113°36'40"—113°39'15",北纬22°23'40"—22°27'38"),属于低纬度亚热带季风区,日照充足,年平均气温22.4℃,最冷月1月的平均气温15.3℃,最热月7月的平均气温28.3℃;年平均降雨量1700—2200mm,东风为常向风,空气年平均相对湿度为79%。潮汐属

不正规半日潮,平均高潮位 0.17 m,平均低潮位-0.14 m,水质比较清洁;土壤属于滨海盐渍草甸沼泽土^[3]。

1.2 采样方法及样品处理

分别于 2010 年 5、8 月和 11 月,2011 年 2 月,在珠海市淇澳岛红树林自然保护区的夹洲岛,选择周围 20 m 内无植被的光滩,恢复背景相同的 6 个月,3a 和 6a 林龄的无瓣海桑人工林;每个研究样地沿岸端向近海端选择 4 个较为典型的地方布设站点(分别标记为 A1—A4,B1—B4,C1—C4,D1—D4)。大型底栖动物的调查,采用 25 cm × 25 cm 的定量样框,每个站点取 4 个样框,先捡出框内底表动物,再挖至 30 cm 深的土壤,用 0.5 mm 孔径筛子分选出底内动物,所获样品用 5% 的甲醛溶液现场固定,于实验室内分析鉴定。在进行大型底栖动物调查的同时,每个站点布设一个 10 m × 5 m 的样方,对样方内所有植物进行全面调查,测定各样方内红树植物的平均树高、胸径和郁闭度,同时,每个样方按对角线随机选 5 个样点,挖取 0—30 cm 层的底泥,均匀混合,取 1 kg 左右的混合土壤作为测试样品。土壤粒径组成、盐分和有机质含量分别用比重计法、重量法和重铬酸钾法测定,pH 值用电位法,每个样品 3 次重复,各生境理化因子水平取全年的平均值。

1.3 大型底栖动物数据分析

1.3.1 物种数和物种优势度指数(Y)

$$Y = P_i \times f_i \quad (1)$$

式中, P_i 为研究区种 i 的个体数占总个体数的比例, f_i 为种 i 在研究区内各站位出现的频率,当 $Y > 0.02$ 时,该种为优势种。物种数和物种优势度指数计算的数据取各生境 4 个站点的全年平均值。

1.3.2 栖息密度和生物量差异显著性分析

以季节和生境为因素,用 Excel 2007 对不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林和光滩湿地中大型底栖动物群落的平均栖息密度和平均生物量进行无重复双因素方差分析。

1.3.3 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'):

$$\text{Margalef 物种丰富度指数} \quad d = (S - 1) / \log_2 N \quad (2)$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数} \quad H' = - \sum_{i=1}^s (P_i) (\ln P_i) \quad (3)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数} \quad J' = H' / H'_{\max}; H'_{\max} = \ln S \quad (4)$$

式中, S 为总种类数, N 为总个体数, P_i 为第 i 种的个体数与样品中的总个数的比值。

1.3.4 动物群落结构的分析

大型底栖动物群落结构的多变量分析采用非参数多变量群落结构分析方法,对各站点的丰度数据先进行全年平均处理,为了减少机会种对群落结构的干扰,删除在总体中相对丰度 $< 1\%$ 的种类,但保留其中任一站点相对丰度 $> 3\%$ 的种类。根据各站点中累计占 80% 的大型底栖动物种类丰度(经平方根转化)为基础构建 Bray-Curtis 相似性矩阵,再进一步进行类平均法站点等级 CLUSTER 聚类和非参数多变量排序(MDS),同样,利用上述的 Bray-Curtis 相似性矩阵,用 One-Way ANOSIM 分析来检验不同生境之间群落结构的差异;用 SIMPER 分析鉴定对各生境动物群落划分起主要作用的种;利用 BIOENV 分析各生境中大型动物群落与对应环境因子的相关系数,分析和选择能够解释动物群落结构的最佳环境因子组合。用 RELATE 检验揭示大型底栖动物群落和环境(非)相似性矩阵之间相关性,然后利用 PRIMER 软件包中的图形分析和多变量分析等方法对群落结构进行研究^[4]。

2 结果与分析

2.1 各生境理化因子水平

对各生境的统计分析表明,随着恢复时间延长,无瓣海桑人工林平均树高、胸径、郁闭度明显升高(表 1),且林地土壤的 pH 值、有机质、砂粒和粘粒含量也具有明显的差异,从表 1 可见随着无瓣海桑人工林生态恢复的进展,林地土壤的 pH 值和砂粒比重降低,粘粒比重和有机质含量趋于增加。

表 1 各生境理化因子水平(平均值±标准差)

Table 1 Level of physical-chemical factors in different habitats (mean ± S. D.)

理化因子 Physical-chemical factors	光滩 The naked tidal flat	N	不同林龄的无瓣海桑人工林 Different forest age of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves					
			6 个月 6 months		3a		6a	
			N	N	N	N	N	N
pH	7.01 ± 0.03	4	7.03 ± 0.12	4	6.90 ± 0.09	4	6.58 ± 0.03	4
土壤盐分 Soil salt content/(g/kg)	4.95 ± 1.51	4	5.10 ± 1.37	4	7.03 ± 1.01	4	6.60 ± 2.41	4
有机质 Organic matter/(g/kg)	15.22 ± 2.41	4	17.78 ± 0.61	4	23.22 ± 1.87	4	33.36 ± 3.45	4
砂粒 Sand/%	80.79 ± 3.74	4	72.28 ± 3.43	4	59.75 ± 3.93	4	54.23 ± 3.44	4
粘粒 Clay/%	9.66 ± 0.67	4	16.96 ± 1.08	4	26.25 ± 1.66	4	31.44 ± 2.93	4
粉粒 Silt/%	9.55 ± 3.07	4	10.78 ± 2.39	4	14.00 ± 2.26	4	14.33 ± 0.77	4
树高 Tree height/m	—	—	1.31 ± 0.04	4	2.32 ± 0.13	4	13.83 ± 0.93	4
胸径 Diameter at breast height/cm	—	—	1.02 ± 0.97	4	3.05 ± 1.03	4	15.16 ± 1.44	4
郁闭度 Canopy closure	—	—	0.29 ± 0.05	4	0.60 ± 0.04	4	0.81 ± 0.05	4

2.2 大型底栖动物种类组成和优势种

调查发现,光滩、6个月、3a和6年林龄无瓣海桑人工林均以腹足类居多,腹足类物种数分别占总物种数的38.46%、29.41%、35.00%和37.50%;其次为甲壳类,分别占总物种数的20.51%、23.53%、20.00%、28.13%;再次为多毛类,分别占总物种数的17.95%、20.59%、20.00%、18.75%(表2)。

表 2 各生境大型底栖动物物种分布

Table 2 Species distribution of macrofauna in different habitats

类群 Taxa	光滩 Naked tidal flat	不同林龄的无瓣海桑人工林 Different forest age of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves		
		6 个月 6 months	3 年 3 years	6 年 6 years
扁形动物 Platyhelminthes	1	0	0	0
纽虫 Nemertina	0	0	1	0
星虫 Sipuncula	0	1	0	0
多毛类 Polych(a)etes	7	7	8	6
寡毛类 Oligochaeta	0	0	1	1
腹足类 Gastropods	15	10	14	12
双壳类 Bivalves	5	4	5	3
甲壳类 Crustacea	8	8	8	9
底栖鱼类 Benthic fishes	3	4	3	1
合计 Total	39	34	40	32

不同生境大型底栖动物的优势种存在差异(表3)。光滩、6个月和3a林龄无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物优势种数分别为6、9、5种,3种生境中优势度指数最高都是光滑狭口螺,其指数分别为0.713、0.573、0.347,呈下降趋势。3种生境中物种优势度指数最高和最低值相差分别为:光滩(0.682)、6个月林龄(0.551)、3a林龄(0.304),也呈下降趋势。另外,3种生境的优势种均有短角围沙蚕。6年林龄的无瓣海桑人工林湿地中优势种数仅有3种,优势度指数最高达0.904,物种优势度指数最高和最低值相差0.883。短角围沙蚕已经不是该生境的优势种。

2.3 大型底栖动物密度和生物量

不同季节不同生境大型底栖动物群落密度和生物量的季节变化见表4,以季节和生境为因素的密度和生物量无重复双因素方差分析显示大型底栖动物密度在4个生境间差异显著($F=4.25, P<0.05$),季节间差异不显著($F=2.51, P>0.05$);生物量在4个生境间差异不显著($F=3.83, P>0.05$),季节间差异也不显著

($F=3.43, P>0.05$)。

表 3 不同生境大型底栖动物优势种

Table 3 Dominant species of macrofauna in different habitats

类型 Type	种名 Species	优势度指数 Dominance index
光滩 Naked tidal flat	光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i>	0.713
	短角围沙蚕 <i>Perinereis brevicirris</i>	0.055
	中华沼螺 <i>Parafossarulus sinensis</i>	0.041
	脊尾螯蛄虾 <i>Upogebia carinicauda</i>	0.034
	德氏狭口螺 <i>S. divalis</i>	0.033
	光滑河蓝蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>	0.031
6 个月林龄的无瓣海桑人工林 6-month forest age of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves	光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i>	0.573
3a 林龄的无瓣海桑人工林 3-year forest age of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves	中华沼螺 <i>Parafossarulus sinensis</i>	0.062
	悦目大眼蟹 <i>Macrophthalmus erato</i>	0.055
	长角涵螺 <i>Alocinma longicori</i>	0.051
	德氏狭口螺 <i>S. divalis</i>	0.049
	脊尾螯蛄虾 <i>Upogebia carinicauda</i>	0.038
	小头虫 <i>Capitella capitata</i>	0.026
	短角围沙蚕 <i>Perinereis brevicirris</i>	0.023
	光滑河蓝蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>	0.022
6a 林龄的无瓣海桑人工林 6-year forest age of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves	光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i>	0.347
	光滑河蓝蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>	0.319
	脊尾螯蛄虾 <i>Upogebia carinicauda</i>	0.131
	中华沼螺 <i>Parafossarulus sinensis</i>	0.045
	短角围沙蚕 <i>Perinereis brevicirris</i>	0.043
	脊尾螯蛄虾 <i>Upogebia carinicauda</i>	0.904
	光滑河蓝蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>	0.033
	中华沼螺 <i>Parafossarulus sinensis</i>	0.021

表 4 各生境大型底栖动物群落不同季节的密度和生物量

Table 4 The density and biomass of macrofauna communities in different habitats of different seasons

项目 Items		不同林龄的无瓣海桑人工林 Different forest age of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves			
		光滩 Naked tidal flat	Different forest age of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves		
			6 个月 6 months	3 年 3 years	6 年 6 years
密度 Density(个/m ²)	春季 Spring	811	453	231	944
	夏季 Summer	571	303	472	619
	秋季 Autumn	657	786	553	3572
	冬季 Winter	1007	1420	721	2936
	平均 Average	762 ± 191	741 ± 496	494 ± 204	2018 ± 1457
生物量 Biomass(g/m ²)	春季	5.94	34.18	12.20	22.33
	夏季	24.49	51.80	34.08	9.48
	秋季	32.08	46.71	38.83	32.63
	冬季	8.47	24.81	21.24	29.73
	平均	17.75 ± 12.60	39.38 ± 12.21	26.59 ± 12.13	23.54 ± 10.33

2.4 4 种生境大型底栖动物物种多样性

不同季节不同生境大型底栖动物群落物种多样性指数的变化见表 5,以季节和生境为因素的多样性指数无重复双因素方差分析显示大型底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数在 4 个生境间差异显著($F=3.93, P<$

0.05), 季节间差异不显著 ($F=0.10, P>0.05$); Pielou 均匀度指数生境间差异显著 ($F=4.09, P<0.05$), 季节间差异不显著 ($F=0.40, P>0.05$); Margalef 丰富度指数生境间差异显著 ($F=4.74, P<0.05$), 季节间差异不显著 ($F=3.05, P>0.05$)。4 种生境中, 全年平均的 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均呈现相同的变化趋势, 即 3a 林龄无瓣海桑人工林 > 6 个月林龄无瓣海桑人工林 > 光滩 > 6a 林龄无瓣海桑人工林。可见, 无瓣海桑种植后 6 个月到 3a, 其林下大型底栖动物物种多样性呈现升高趋势, 但到了 6a 林龄无瓣海桑人工林, 其林下大型底栖动物物种多样性反而下降。

表 5 各生境大型底栖动物群落不同季节的物种多样性指数

Table 5 The species diversity indices of macrofauna communities in different habitats of different seasons

物种多样性指数 Species diversity	季节 Season	光滩 Naked tidal flat	不同林龄的无瓣海桑人工林 Different forest age of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves		
			6 个月 6 months	3a	6a
H'	春季	0.660	1.464	1.467	1.014
	夏季	0.890	1.218	1.242	0.849
	秋季	1.487	1.243	1.458	0.364
	冬季	1.265	1.134	1.320	0.717
	平均	1.076 ± 0.371	1.265 ± 0.141	1.372 ± 0.110	0.736 ± 0.276
J'	春季	0.310	0.648	0.703	0.567
	夏季	0.429	0.639	0.651	0.346
	秋季	0.645	0.533	0.618	0.164
	冬季	0.545	0.466	0.598	0.211
	平均	0.482±0.145	0.572±0.088	0.643±0.046	0.322±0.181
d	春季	0.998	1.411	1.365	1.027
	夏季	1.106	1.095	1.041	0.780
	秋季	1.461	1.434	1.718	0.809
	冬季	1.332	1.407	1.255	1.148
	平均	1.224±0.210	1.337±0.162	1.345±0.283	0.941±0.177

2.5 4 种生境大型底栖动物群落结构

聚类分析结果如图 1 所示: 把 16 个站点分成了 4 个不同的组, 可见, 4 种生境的大型底栖动物群落可以区分开来, 光滩、6 个月林龄和 3a 林龄无瓣海桑人工林湿地大型底栖动物群落之间相似性相对较高, 而 6a 林龄无瓣海桑人工林与其他 3 种生境的大型底栖动物群落结构相似性相对较低。

排序分析结果如图 2 所示: stress=0.08 < 0.1 说明这个结果支持聚类分析结果, 也将相同生境中的大型底栖动物群落分别划分到一个组内。图上代表 6 年林龄无瓣海桑人工林的 4 个站点的 4 个点间的距离最小, 说明该生境 4 个站点的大型底栖动物群落结构最相似, 且与其他生境动物群落结构差异较大。

用 One-Way ANOSIM 检验 4 种生境间的差异性, 结果显示, 4 种生境大型底栖动物群落结构间的差异极显著 (Global $R=0.94, P=0.001$)。用 One-Way ANOSIM 分别检验每 2 种生境间群落结构的差异性, 结果显示: 光滩和 6 个月林龄无瓣海桑人工林 (Global $R=0.740, P=0.029$)、6 个月林龄和 3a 林龄无瓣海桑人工林 (Global $R=0.979, P=0.029$)、3a 林龄和 6a 林龄无瓣海桑人工林 (Global $R=0.969, P=0.029$) 之间群落结构均有显著的差异。采用群落之间相似性百分比分析 (SIMPER) 来了解表征群落和造成群落差异的物种, 结果

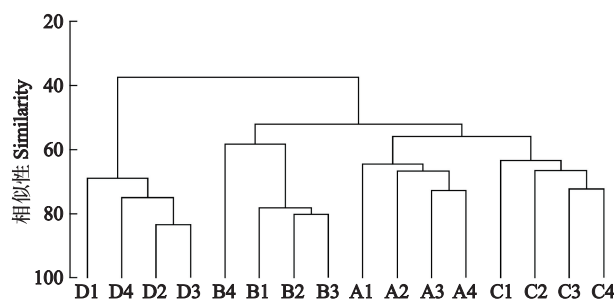


图 1 各站点大型底栖动物群落系统聚类图

Fig. 1 The hierarchical cluster dendrogram of macrofauna communities in each station

表明造成光滩和 6 个月林龄无瓣海桑人工林间群落结构差异的主要种包括光滑狭口螺、短角围沙蚕、悦目大眼蟹和脊尾螯蛄虾、德氏狭口螺和长角涵螺,它们对平均非度量系数 (Bray-Curtis) 不相似性的贡献分别为 45.10%、6.83%、6.41%、6.20%、5.72% 和 4.51%;造成 6 个月林龄和 3a 林龄无瓣海桑人工林间群落结构差异的主要种包括光滑狭口螺、光滑河蓝蛤、脊尾螯蛄虾、德氏狭口螺、悦目大眼蟹和长角涵螺,它们对平均非度量系数 (Bray-Curtis) 不相似性的贡献分别为 35.91%、17.64%、9.44%、6.18%、5.09% 和 4.73%;造成 3a 林龄和 6a 林龄无瓣海桑人工林间群落结构差异的主要种包括脊尾螯蛄虾、光滑狭口螺和光滑河蓝蛤,它们对平均非度量系数 (Bray-Curtis) 不相似性的贡献分别为 79.71%、8.34% 和 5.97%。可见,生境动物群落主要特征及群落间的差异主要是受各生境大型底栖动物优势种所决定的。

2.6 大型底栖动物同环境各理化因子的关系

利用 BIOENV 分析,找出与各站点大型底栖动物丰度最为匹配的环境理化因子,结果见表 6。几个理化因子的组合与底栖生物丰度均达到显著或极显著的相关水平。RELATE 检验结果均显著。这表明表 6 中列出的理化因子是影响大型底栖动物群落结构变化的重要因子。

表 6 大型底栖动物群落的丰度与环境理化因子的匹配关系

生境 Habitats	BIOENV 分析 BIOENV analysis	RELATE 分析 RELATE analysis	
	最为匹配的理化因子组合 The most matching physical-chemical factors combination	ρ	$R(P)$
4 种生境	有机质含量,土壤盐分,pH 值,树高,胸径	0.776	0.696 (0.001)
光滩与 6 个月林龄无瓣海桑人工林	树高,郁闭度,粘粒	0.639	0.587 (0.001)
6 个月与 3a 林龄无瓣海桑人工林	树高,胸径,粘粒,砂粒,土壤盐分	0.748	0.722 (0.017)
3a 与 6a 林龄无瓣海桑人工林	粘粒,土壤盐分,粉粒,树高	0.848	0.75 (0.015)

其中,与 4 种生境大型底栖动物丰度最为匹配的理化因子是土壤的有机质含量,盐分,pH 值,无瓣海桑的平均树高和胸径。5 种理化因子分别与大型底栖动物群落丰度的相关系数 r 为:土壤有机质含量(0.707),盐分(0.228),pH 值(0.182),树高(0.667),胸径(0.207);与光滩和 6 个月林龄无瓣海桑人工林 2 种生境大型底栖动物丰度最为匹配的 3 种理化因子分别与动物丰度的相关系数 r 为:树高(0.603),郁闭度(0.295),粘粒含量(0.283);与 6 个月林龄和 3a 林龄无瓣海桑人工林 2 种生境大型底栖动物丰度最为匹配的 5 种理化因子分别与动物丰度的相关系数 r 为:树高(0.738),胸径(0.692),粘粒含量(0.691),砂粒含量(0.390),土壤盐分(0.300);与 3a 林龄和 6a 林龄无瓣海桑人工林 2 种生境大型底栖动物丰度最为匹配的 4 种理化因子分别与动物丰度的相关系数 r 为:粘粒含量(0.802),土壤盐分(0.027),粉粒含量(0.015),树高(0.546)。

3 讨论

从结果与分析 2.5 可以看出,等级聚类、非参数多变量标序和相似性分析检验 (One-Way ANOSIM) 结果均显示光滩、6 个月林龄、3a 林龄和 6a 林龄无瓣海桑人工林 4 种生境间大型底栖动物群落结构差异显著。相似性百分比分析 (SIMPER) 结果显示各生境动物群落主要特征及群落间的差异主要是受各生境大型底栖动

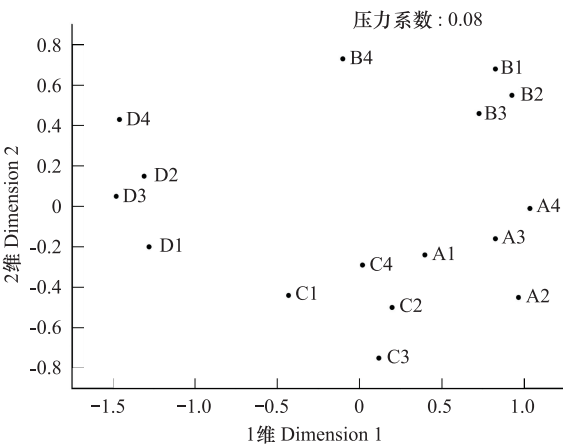


图 2 各站点大型底栖动物群落的非参数多变量标序
Fig. 2 MDS ordination of macrofauna communities in each station

物优势种所决定的。方差分析也显示 4 种生境间大型底栖动物栖息密度、物种多样性指数差异显著(结果与分析 2.3 和 2.4)。这说明随着无瓣海桑人工林的恢复,林内荫蔽状况、林内光强^[2,5]和林地土壤理化性质的改变^[6-12],林地大型底栖动物群落的演替明显,这与其它研究结果相一致^[13-14]。

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^[15]。大量的文献都证实红树林植被影响了底栖动物的分布^[6-15]。从表 5 可看出,光滩、6 个月林龄、3a 林龄无瓣海桑人工林 3 种生境间大型底栖动物的年平均 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数都呈上升趋势。3 种生境间物种优势度指数最高和最低值的差值呈下降趋势,优势度指数最高的光滑狭口螺优势度也呈下降趋势,3 种生境的优势种中均有底内型^[16]的短角围沙蚕出现。这些说明无瓣海桑人工种植的前 3a,随着植被的快速恢复,大型底栖动物物种分布趋于均匀,物种多样性增加明显。这与其它一些研究结果相一致,如李蓉等研究了九龙江口桐花树红树林恢复对大型底栖动物的影响,结果发现整体而言红树林多样性指数和均匀度指数较光滩都要高^[13]。陈光程等发现九龙江口秋茄人工恢复林内大型底栖动物的物种数大于光滩^[14]。从表 6 可以看出,与光滩和 6 个月林龄无瓣海桑人工林 2 种生境中大型底栖动物丰度最为匹配的理化因子是人工恢复无瓣海桑的平均树高,人工林的郁闭度和土壤粘粒含量。与 6 个月和 3a 林龄无瓣海桑人工林 2 种生境中大型底栖动物丰度最为匹配的理化因子是无瓣海桑的平均树高和胸径,土壤盐分,砂粒和粘粒含量。从相关系数 r 看,无瓣海桑的平均树高、胸径和林中郁闭度等植被特征对大型底栖动物的影响均大于林地土壤理化性质对大型底栖动物的影响,这说明,在无瓣海桑人工林恢复的早期阶段,植被特征(树高、胸径和林中郁闭度)对大型底栖动物的影响比林地土壤理化性质的影响更大。这是由于无瓣海桑的速生性,植被的快速恢复给大型底栖动物提供了一个躲藏和逃避敌害的场所^[9],同时,红树植物提供的荫蔽可以减轻高温和水分蒸发对底栖动物的胁迫^[17]。而相对于植被的快速恢复,无瓣海桑人工林林地土壤理化性质的改变,要缓慢和滞后得多。

从 3a 林龄到 6a 林龄无瓣海桑人工林,大型底栖动物的年平均 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数却都呈下降趋势。6a 林龄无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物优势种的物种数下降为 3,且脊尾螯虾优势度指数高达 0.904,物种优势度指数最高和最低值的差值高达 0.883。说明物种分布过于集中(表 3)。虽然该生境的动物栖息密度最高,但主要集中在脊尾螯虾,光滑河蓝蛤和中华沼螺这 3 个物种上,其大型底栖动物年平均物种多样性指数却是在调查的 4 种生境中最低的(表 5)。BIOENV 分析表明与 3a、6a 林龄无瓣海桑人工林 2 种生境中大型底栖动物丰度最为匹配的理化因子是土壤粘粒,粉粒含量,盐分和无瓣海桑的平均树高,从相关系数 r 看,土壤粘粒含量对大型底栖动物的影响大于无瓣海桑平均树高对动物的影响。说明随着无瓣海桑人工林恢复时间的进一步延长,6a 林龄无瓣海桑人工林林地土壤的理化性质已明显改变,林地土壤理化性质(如粘粒含量)开始上升为对大型底栖动物产生影响的主要生态因子。韩维栋等^[18]研究证明处于不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林林地的土壤理化性质,主要表现为随着红树林生态恢复的进展,土壤 pH 值迅速降低,机械组成中粘粒比重、有机质含量、风干土壤含水量、可溶性 SO_4^{2-} 和全铁含量趋于增加,6a 生无瓣海桑人工林林地土壤已具有红树林酸性硫酸盐土的基本特征。无瓣海桑人工林林地粘粒含量的增加,使得土壤透气性下降,不利于底内底栖动物的生长,故在其他 3 个生境均为优势种的短角围沙蚕,在 6a 林龄人工林中已经不是优势种了。至于树高与 3a 林龄和 6a 林龄无瓣海桑人工林 2 种生境大型底栖动物丰度的相关系数为 0.546,低于与光滩和 6 个月林龄无瓣海桑人工林 2 种生境大型底栖动物丰度的相关系数(0.603),也低于与 6 个月林龄和 3a 林龄无瓣海桑人工林 2 种生境大型底栖动物丰度的相关系数(0.738),这可能是从光滩、6 个月林龄到 3a 林龄,树的快速长高,对大型底栖动物的影响更多体现在提供了有益的荫蔽环境上。由于无瓣海桑的速生性,3a 林龄的平均树高已高达 2.32 m,已经能够提供一个良好的荫蔽环境了,因此,从 3a 再到 6a 林龄,树的长高对大型底栖动物的影响可能更多体现在红树植物直接或间接地为一些底栖动物提供营养来源方面。由于无瓣海桑人工林提供了与乡土红树植物不同营养水平(如 C/N 比)和单宁含量的“凋零物”,许多乡土底栖动物“不适应”或“不喜欢”无瓣海桑“凋零物”这种外来“食

物源”,导致物种多样性的下降。已有研究证明不同动物对不同红树植物残体尤其是落叶啃食作用不同,即具有“选择性”^[2,17,19-20]。但实际是否这样,还需进一步研究。

综上所述,本研究中,无瓣海桑种植的前 3a,林地大型底栖动物物种多样性增加明显,但种植的第 6 年,林地大型底栖动物物种多样性反而明显下降。这与其它学者认为大型底栖动物群落的物种多样性与红树林的发育状况呈负相关相一致^[13,21]。但高爱根等^[21]认为大型底栖动物群落的生物量还是与红树林发育状况呈正相关的,而本研究中,植被发育状况最好 6a 林龄无瓣海桑人工林林地中大型底栖动物生物量最小,这可能与无瓣海桑人工林提供了与乡土红树植物不同营养水平的食物源有关,具体机制还需作进一步研究。因此,大量扩种无瓣海桑在今后是否会给林地大型底栖动物带来生态负面影响,仍需加强跟踪调查,使其为恢复沿海红树林生态系统起到积极的作用。

References:

- [1] Liao B W, Li M, Zheng S F, Chen Y J, Zheng Y R. Study on intraspecific and interspecific competition in exotic species *Sonneratia apetala*. *Forest Research*, 2003, 16(4): 418-422.
- [2] Ye Y, Weng J, Lu C Y, Chen G C. Mangrove biodiversity restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1243-1250.
- [3] Guan W, Liao B W, Qiu F Y, Gu X H, Han J, Tian G H, Yang X B. A preliminary study on controlling the invasive species *Spartina alterniflora* using *Sonneratia apetala*. *Forest Research*, 2009, 22(4): 603-607.
- [4] Zhou H, Zhang Z N. Rationale of the Multivariate Statistical Software PRIMER and its application in benthic community ecology. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2003, 33(1): 58-64.
- [5] Han S M, He P, Huang B, Zhong C R, Wang X J, Guo H. Comparative study on the diversity of macrobenthos in typical mangrove regions of Dongzhai Harbor, Hainan Island. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(1): 123-126.
- [6] Zhou X P, Cai L Z, Fu S J, Wang W. Comparative study of the macrobenthic community in intertidal mangrove and non-mangrove habitats in Tong'an Bay, Fujian Province. *Biodiversity Science*, 2010, 18(1): 60-66.
- [7] Tang Y J, Yu S X. Spatial zonation of macrofauna in the Zhanjiang Mangrove Nature Reserve, Guangdong. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1703-1714.
- [8] Lin X C, Cai L Z, Ma L, Gao Y, Yang L, Liu W M. The macrofaunal community in Fenglin mangrove area, Xiamen. *Biodiversity Science*, 2006, 14(2): 128-135.
- [9] Wang B S, Liao B W, Wang Y J, Zan Q J, Zhang W Y, Zhang J L, Li M G, Jin J H. Mangrove Forest Ecosystem and Its Sustainable Development in Shenzhen Bay. Beijing: Science Press, 2002: 237-244.
- [10] Fan H Q, He B Y, Wei S Q. Influences of sand dune movement within the coastal mangrove stands on the macrobenthos *in Situ*. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 722-727.
- [11] Zou F S, Song X J, Chen K, Liang Y, Xu D H. The research on benthic macrofauna of swamp in Qinglangang Mangrove, Hainan. *Ecologic Science*, 1999, 18(2): 42-45.
- [12] Cai L Z, Tan F Y, Huang Y S. Characteristics of quantitative distribution and species composition of macrozoobenthos in mangrove stands in Eastern Hong Kong. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 1998, 37(1): 115-121.
- [13] Li R, Ye Y, Chen G C, Wen J. Effect of *Aegiceras corniculata* mangrove rehabilitation on macro-benthic animals in Jiulongjiang River Estuary. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2007, 46(1): 109-114.
- [14] Chen G C, Ye Y, Lu C Y. Effect of *Kandelia candel* mangrove rehabilitation on macro-benthic fauna in Jiulongjiang River Estuary. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2008, 47(2): 260-264.
- [15] Lee S Y. The ecological role of grapsid crabs in mangrove ecosystems: a review. *Marine and Freshwater Research*, 1998, 49(4): 335-343.
- [16] Yuan X Z, Lu J J, Liu H. Distribution pattern and variation in the functional groups of zoobenthos in the Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2054-2062.
- [17] 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(2): 173-183.
- [18] Han W D, Ling D J, Li Y, Wu X F. The soil dynamic study of restored *Sonneratia apetala* plantations. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2003, 27(2): 49-54.
- [19] Li X L, Peng Y S, Wan R, Wu K L, Chen G Z. Food preference of two sesamid crabs to different mangrove leaves. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14): 3752-3759.

- [20] Erickson A A, Saltis M, Bell S S, Dawes C J. Herbivore feeding preferences as measured by leaf damage and stomatal ingestion: a mangrove crab example. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 289(1): 123-138.
- [21] Gao A G, Chen Q Z, Zeng J N, Liao Y B, Yang J Y. Macrofauna community in the mangrove area of Ximen Island, Zhejiang. *Journal of Marine Sciences*, 2005, 23(2): 33-40.

参考文献:

- [1] 廖宝文, 李玫, 郑松发, 陈玉军, 郑馨仁. 外来种无瓣海桑种内、种间竞争关系研究. *林业科学研究*, 2003, 16(4): 418-422.
- [2] 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.
- [3] 管伟, 廖宝文, 邱凤英, 谷兴华, 韩静, 田广红, 杨雄邦. 利用无瓣海桑控制入侵种互花米草的初步研究. *林业科学研究*, 2009, 22(4): 603-607.
- [4] 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: 自然科学版*, 2003, 33(1): 58-64.
- [5] 韩淑梅, 何平, 黄勃, 钟才荣, 王先静, 郭恒. 东寨港典型红树林区底栖动物多样性特征指数比较研究. *西北林学院学报*, 2010, 25(1): 123-126.
- [6] 周细平, 蔡立哲, 傅素晶, 王雯. 福建同安湾潮间带红树林生境与非红树林生境大型底栖动物群落比较. *生物多样性*, 2010, 18(1): 60-66.
- [7] 唐以杰, 余世孝. 广东湛江红树林保护区大型底栖动物群落的空间分带. *生态学报*, 2007, 27(5): 1703-1714.
- [8] 林秀春, 蔡立哲, 马丽, 高阳, 杨丽, 刘炜明. 厦门凤林红树林湿地大型底栖动物群落. *生物多样性*, 2006, 14(2): 128-135.
- [9] 王伯荪, 廖宝文, 王勇军, 咎启杰, 张炜银, 张军丽, 李鸣光, 金建华. 深圳湾红树林生态系统及其持续发展. 北京: 科学出版社, 2002: 237-244.
- [10] 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.
- [11] 邹发生, 宋晓军, 陈康, 梁勇, 许达宏. 海南清澜港红树林滩涂大型底栖动物初步研究. *生态科学*, 1999, 18(2): 42-45.
- [12] 蔡立哲, 谭凤仪, 黄玉山. 香港东部红树林区大型底栖动物种类组成与数量分布特点. *厦门大学学报: 自然科学版*, 1998, 37(1): 115-121.
- [13] 李蓉, 叶勇, 陈光程, 翁劲. 九龙江口桐花树红树林恢复对大型底栖动物的影响. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2007, 46(1): 109-114.
- [14] 陈光程, 叶勇, 卢昌义. 九龙江口秋茄红树林恢复对大型底栖动物群落的影响. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2008, 47(2): 260-264.
- [16] 袁兴中, 陆健健, 刘红. 长江口底栖动物功能群分布格局及其变化. *生态学报*, 2002, 22(12): 2054-2062.
- [18] 韩维栋, 凌大炯, 李燕, 吴小凤. 人工无瓣海桑林的土壤动态研究. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2003, 27(2): 49-54.
- [19] 李旭林, 彭逸生, 万如, 伍卡兰, 陈桂珠. 两种相手蟹对不同红树植物叶片取食的偏好性. *生态学报*, 2010, 30(14): 3752-3759.
- [21] 高爱根, 陈全震, 曾江宁, 廖一波, 杨俊毅. 西门岛红树林区大型底栖动物的群落结构. *海洋学研究*, 2005, 23(2): 33-40.

CONTENTS

Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology	LI Xuanqi, HUA Lizhong (2965)
Significant impact of job-housing distance on carbon emissions from transport: a scenario analysis	TONG Kangkang, MA Keming (2975)
The watershed eco-compensation system from the perspective of economics: the cases of pollution compensation	LIU Tao, WU Gang, FU Xiao (2985)
The tourism development impact on Shanghai coastal wetland vegetation	LIU Shidong, GAO Jun (2992)
Effects of the Wenchuan Earthquake on shoot growth and development of the umbrella bamboo (<i>Fargesia robusta</i>), one of the giant panda's staple bamboos	LIAO Lihuan, XU Yu, RAN Jianghong, et al (3001)
Forest carbon sequestration and carbon sink/source in Jiangxi Province	HUANG Lin, SHAO Quanqin, LIU Jiyuan (3010)
Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin	CHEN Jie, GUO Yili, LU Xunling, et al (3021)
Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang	GU Meiying, XU Wanli, MAO Jun, et al (3031)
Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. in desert zone	HE Xueli, CHEN Zheng, GUO Huijuan, et al (3041)
Characteristics of photosynthetic productivity and water-consumption for transpiration in <i>Pinus densiflora</i> var. <i>zhangwuensis</i> and <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	MENG Peng, LI Yuling, YOU Guochun, et al (3050)
Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest	LIU Qiang, YANG Zhijie, HE Xudong, et al (3061)
Influence of saline soil and sandy soil on growth and mineral constituents of common annual halophytes in Xinjiang	ZHANG Ke, TIAN Changyan, LI Chunjian (3069)
Dynamics change of <i>Betula ermanii</i> population related to shrub and grass on treeline of northern slope of Changbai Mountains	WANG Xiaodong, LIU Huiqing (3077)
Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco	YAN Kan, CHEN Zongyu (3087)
A study on the hyperspectral inversion for estimating leaf chlorophyll content of clover based on factor analysis	XIAO Yanfang, GONG Huili, ZHOU Demin (3098)
Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water	WANG Xiaorong, CHENG Ruimei, TANG Wanpeng, et al (3107)
Effects of three land use patterns on diversity and community structure of soil ammonia-oxidizing bacteria in <i>Leymus chinensis</i> steppe	ZOU Yukun, ZHANG Jingni, CHEN Xiurong, et al (3118)
Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth	JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei (3128)
Effect of differing levels parasitism from native <i>Cuscuta australis</i> on invasive <i>Bidens pilosa</i> growth	ZHANG Jing, YAN Ming, LI Junmin (3136)
Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province	ZHANG Ju, CHEN Shiyue, DENG Huanguang, et al (3144)
Effect of decomposition products of cyanobacteria on <i>Myriophyllum spicatum</i> and water quality in Lake Taihu, China	LIU Lizhen, QIN Boqiang, ZHU Guangwei, et al (3154)
Succession of macrofauna communities in wetlands of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves during different ecological restoration stages	TANG Yijie, FANG Zhanqiang, ZHONG Yanting, et al (3160)
Group characteristics of Chinese Merganser (<i>Mergus squamatus</i>) during the wintering period in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province	SHAO Mingqin, ZENG Binbin, SHANG Xiaolong, et al (3170)
Effect of forest rodents on predation and dispersal of <i>Pinus armandii</i> seeds in Qinling Mountains	CHANG Gang, WANG Kaifeng, WANG Zhi (3177)
Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (<i>Phodopus roborovskii</i>)	WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang (3182)
Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of <i>Locusta migratoria tibetensis</i> Chen	LI Qing, WU Lei, YANG Gang, et al (3189)
Carbon cycling from rice-duck mutual ecosystem during double cropping rice growth season	ZHANG Fan, GAO Wangsheng, SUI Peng, et al (3198)
Protein expression characteristics and their response to nitrogen application during grain-filling stage of rice (<i>Oryza Sativa</i> L.)	ZHANG Zhixing, CHENG Jun, LI Zhong, et al (3209)
Review and Monograph	
Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria	ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli (3225)
A review of comprehensive effect of ocean acidification on marine fishes	LIU Hongjun, ZHANG Zhendong, GUAN Shuguang, et al (3233)
Evaluation of the controlling methods and strategies for <i>Mikania micrantha</i> H. B. K.	LI Mingguang, LU Erbei, GUO Qiang, et al (3240)
Scientific Note	
Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on Remote Sensing	SUN Qian, TASHPOLAT. Tiyp, ZHANG Fei, et al (3252)
Phytoplankton assemblages in East China Sea in winter 2009	GUO Shujin, SUN Jun, DAI Minhan, et al (3266)
On the physical chemical and soil microbial properties of soils in the habitat of wild Ferula in Xinjiang	FU Yong, ZHUANG Li, WANG Zhongke, et al (3279)
The community characteristics of <i>Calligonum roborowskii</i> A. Los in Tarim Basin	Gulnur Sabirhazi, PAN Borong, DAUN Shimin (3288)
Stability analysis of mine ecological industrial symbiotic system	SUN Bo, WANG Guangcheng (3296)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 10 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 10 (May, 2012)

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	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
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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@csbg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csbg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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 70.00 元