

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
2011



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 31 卷 第 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苳麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究

廖一波¹, 寿 鹿^{1,2}, 曾江宁^{1,*}, 高爱根¹, 江志兵¹

(1. 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室, 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012;

2. 南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210097)

摘要:于 2009 年 2 月在象山港顶部海域分别对海带、牡蛎和鱼类网箱 3 种不同养殖区进行了大型底栖动物调查。调查共鉴定大型底栖动物 73 种, 隶属 8 门 12 纲 53 科, 以软体动物和环节动物为主。海带养殖区优势种有 5 种; 牡蛎养殖区有 4 种; 网箱养殖区有 9 种。海带、牡蛎和网箱养殖区大型底栖动物平均栖息密度分别为 (132 ± 71) 个/ m^2 、 (94 ± 91) 个/ m^2 和 (210 ± 132) 个/ m^2 ; 平均生物量分别为 (26.51 ± 11.06) g/ m^2 、 (53.03 ± 61.94) g/ m^2 和 (108.80 ± 73.56) g/ m^2 。栖息密度和生物量不同养殖区和不同调查站位间差异显著。Tukey 多重比较结果显示, 栖息密度海带养殖区与牡蛎和网箱养殖区间均无显著差异, 而牡蛎与鱼类网箱养殖区间存在显著差异; 生物量海带养殖区与牡蛎养殖区间无显著差异, 海带养殖区和牡蛎养殖区与网箱养殖区间均显著差异。典范对应分析结果表明, 对大型底栖动物群落起主要影响的环境因子有温度、盐度、总氮和总磷等, 排序轴对物种-环境关系的贡献率计算结果表明环境变量可以较好的解释主要类群的变化情况。丰度/生物量比较曲线(ABC 曲线)分析结果表明, 网箱养殖区大型底栖动物群落受较明显扰动, 而海带和牡蛎养殖区大型底栖动物群落未受扰动。

关键词:海水养殖; 大型底栖动物; 群落; 象山港

A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China

LIAO Yibo¹, SHOU Lu^{1,2}, ZENG Jiangning^{1,*}, GAO Aigen¹, JIANG Zhibing¹

1 Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, SOA, Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China

2 College of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China

Abstract: Xiangshan Bay, located on the east coast of China, is a semi-enclosed bay with slow rate of water exchange. Pollutants from aquaculture systems that released to the bay are not effectively dispersed to the open sea. The adverse environmental impacts of aquaculture development has now become a matter of urgency to the region. This paper presents the results of a comparative study of macrobenthic communities under three different mariculture areas including sea tangle culture area, oyster-culture area and fish cage-culture area in Xiangshan Bay in February 2009. 73 species of macrobenthos were identified, including Polychaeta, Mollusca, Crustacean, Echinodermata and Others. Polychaeta and Crustacean are the major groups of macrobenthos in the investigation areas. The dominant species are *Yoldia similis*, *Grandidierella japonica*, *Dosinia laminata*, *Cultellus attenuatus*, and *Scapharca subcrenata* in the sea tangle culture area, *Yoldia similis*, *Eunice indica*, *Sthenolepis japonica*, *Amphioplus japonicus* in the oyster-culture area, and *Amphioplus depressus*, *Mitrella bella*, *Nassarius variciferus*, *Diopatra chilensis*, *Protankyra bidentata*, *Amphioplus japonica*, *Marphysa sanguinea*, *Sthenolepis japonica*, and *Scapharca subcrenata* in the fish cage-culture area, respectively. The average abundances of macrobenthos in sea tangle culture area, oyster-culture area and fish cage-culture area were (132 ± 71) ind/ m^2 , (94 ± 91) ind/ m^2 and (210 ± 132) ind/ m^2 , respectively. And the average biomass of macrobenthos in sea tangle culture area, oyster-culture area and fish cage-culture area were (26.51 ± 11.06) g/ m^2 , (53.03 ± 61.94) g/ m^2 and (108.80 ± 73.56) g/ m^2 , respectively.

基金项目:国家重点基础研究发展规划(国家 973 计划)(2010CB428903); 海洋公益性行业科研专项(200805069, 200905011); 我国近海海洋综合调查与评价专项(ZJ908-02-02, ZJ908-04-02); 国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项资助(JG200815, JG200920)

收稿日期:2010-01-21; **修订日期:**2010-04-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangningz@126.com

g/m^2 , respectively. The abundance and biomass of macrobenthos have significantly differences among the different mariculture areas and sampling stations. The abundance of macrobenthos in the sea tangle culture area did not differ from those in the oyster-culture area and the fish cage-culture area, but there was significant difference between the oyster-culture area and the fish cage-culture area. The biomass of macrobenthos in the sea tangle culture area did not differ from the oyster-culture area, but the biomass of macrobenthos in the fish cage-culture area differed significantly from the sea tangle culture area and from the oyster-culture area. The relationships between the environmental factors and the major groups from three different mariculture areas were studied by Canonical Correspondence Analysis (CCA). The results showed that the temperature, salinity, Total nitrogen (TN) and Total phosphorus (TP) were the main environmental factors correlated with macrobenthic community. The results of cumulative percentage variance of species-environment relation showed that CCA ordination well visually demonstrated the community distribution and its relationship to the environmental factors. Abundance/biomass comparison curve method was used to determine the levels of macrobenthic communities under the disturbance condition. The macrobenthic community in fish cage-culture area was under the obviously disturbance situation while the macrobenthic communities in other two mariculture areas were undisturbed.

Key Words: mariculture; macrobenthos; community structure; Xiangshan Bay

作为海洋生态系统的重要组成部分,大型底栖动物通过参与碳、氮、硫等元素的生物地球化学循环,共同维系着海洋生态系统的结构和功能^[1-2]。它们通过自身的活动与周围环境以及污染物质之间进行相互作用,因此对环境污染具有较好的指示作用^[3]。我国是水产养殖大国,根据联合国粮食及农业组织(FAO)统计,2007 年我国水产养殖(鱼类、甲壳类和软体动物等)产量达 3142 万 t,约占全球的 62.4%,然而伴随水产养殖业的迅猛发展而导致的环境问题越来越受到国内外学界的广泛关注^[4-7]。象山港作为典型的半封闭海湾,其水交换能力较弱,港顶处 90% 水交换周期约为 80 d 左右^[8-9],因此污染物的稀释扩散能力弱,海水养殖产生的污染物质长期滞留湾内,对海域生态环境的影响尤为显著^[10]。根据 2008 年浙江省海洋环境公报,象山港海域富营养化较严重,海域主要污染物质为无机氮和活性磷酸盐。本文以 2009 年 2 月在象山港顶部海域开展的大型底栖动物定量调查数据为基础,对海带、牡蛎和鱼类网箱等 3 种不同养殖类型海域的大型底栖动物群落结构进行对比分析,探讨海水养殖对象山港大型底栖群落的影响,为海湾生物群落的动态变化及演替提供基础资料,为大型底栖动物群落对人类活动的响应奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究航次和站位布设

于 2009 年 2 月对象山港顶部的海带养殖区(LC)、牡蛎养殖区(OC)和鱼类网箱养殖区(FC)的大型底栖动物进行了定量采样,见图 1。调查站位布设分别为养殖区中心站、养殖区边缘站位以及分别距离养殖区边缘 50 m、100 m 和 1000 m 共 5 个站位。海带、牡蛎和网箱养殖区中心点的经纬度分别为 $121^{\circ}34'27''\text{E}$, $29^{\circ}29'45''\text{N}$, $121^{\circ}29'44''\text{E}$, $29^{\circ}29'58''\text{N}$ 和 $121^{\circ}32'3''\text{E}$, $29^{\circ}30'35''\text{N}$ 。

1.2 样品采集、处理与分析

使用 Van Veen 0.1 m^2 采泥器取样,样品用 0.5 mm 孔径的网筛筛洗,用 5% 的福尔马林固定,每站平行取样 4 次。在实验室里进行分类鉴定、个体计数以及称重(湿重)等工作。样品的采集、处理、保存、计数和称量等均按照《海洋调查规范》(GB/T 12763. 9-2007)^[11]

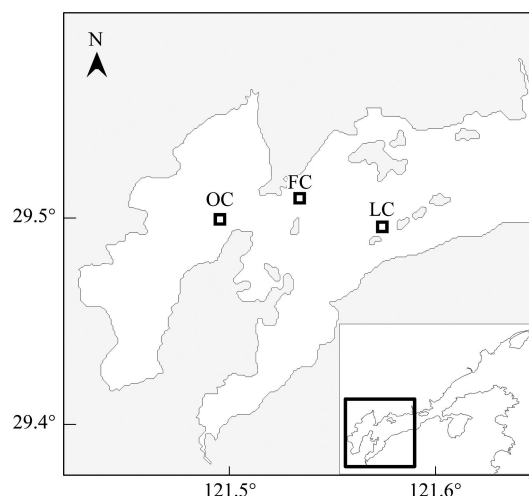


图 1 象山港 3 种不同养殖区的调查位置图

Fig. 1 Map showing the location of three different mariculture in the Xiangshan Bay

操作。

1.3 环境因子

环境因子有底层海水的温度、盐度和溶解氧,表层沉积物的硫化物、总有机碳、总氮和总磷。海水的温度和盐度利用 YSI 30 型测定,溶解氧利用碘量法测定;沉积物的硫化物、总有机碳、总氮和总磷分别利用离子选择电极法、热导法、凯氏滴定法和分光光度法测定。各环境因子的变化情况见表 1。不同养殖区的底质类型存在差异,牡蛎养殖区为碎贝壳含量较高的贝壳砂类型,而海带养殖区和鱼排区均为粉砂质粘土类型底质。

表 1 不同养殖区环境因子的理化性状(平均值 ± 标准差)

Table 1 Physicochemical features of environmental factors in different mariculture areas (mean ± S. D.)

环境因子 Environmental factors	范围 Range					
	海带养殖区 Sea tangle culture area	<i>N</i>	牡蛎养殖区 Oyster-culture area	<i>N</i>	网箱养殖区 Fish cage-culture area	<i>N</i>
温度 Temperature/℃	10.6 ± 0.1	5	11.5 ± 0.1	5	10.8 ± 0.2	5
盐度 Salinity	24.1 ± 0.2	5	24.2 ± 0.2	5	24.6 ± 0.3	5
溶解氧 Dissolved oxygen/(mg/L)	9.06 ± 0.03	5	9.27 ± 0.13	5	9.10 ± 0.03	5
硫化物 Sulfide/(μg/kg)	12.94 ± 18.45	5	19.38 ± 27.20	5	519.62 ± 611.52	5
总有机碳 Total organic carbon/%	0.85 ± 0.10	5	0.99 ± 0.16	5	1.00 ± 0.09	5
总氮 Total nitrogen/%	0.117 ± 0.009	5	0.113 ± 0.016	5	0.118 ± 0.018	5
总磷 Total phosphorus/%	0.056 ± 0.003	5	0.050 ± 0.006	5	0.077 ± 0.034	5

1.4 数据处理与分析

物种优势度指数(Y):

$$Y = P_i \times f_i$$

式中, P_i 为养殖区种 i 的个体数占总个体数的比例, f_i 为种 i 在养殖区内各站位出现的频率,当 $Y > 0.02$ 时,该种为优势种^[12-13]。

采用典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)对象山港不同养殖区大型底栖动物群落与环境因子的关系进行分析,该分析在 Canoco for Windows 4.53 中完成,利用 Monte Carlo 检验 CCA 排序的所有轴的显著性。采用丰度/生物量比较曲线(ABC 曲线)来分析象山港不同养殖区大型底栖动物群落受污染或其它因素的扰动状况^[14]。利用 STATISTICA 6.0 统计软件包分析所有数据。数据在作参数统计分析前,分别进行正态性(Kolmogorov-Smirnov test)和方差同质性(Bartlett test)检验。利用养殖区和调查站位为因子的双因子方差分析、Tukey 多重比较等分析处理相应的数据,描述性统计值用平均值 ± 标准差表示,显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 种类组成

调查共发现大型底栖动物 73 种,隶属 8 门 12 纲 53 科,以环节动物和软体动物为主,两类合计达 42 种,占总种类数的 57.5%。

2.2 优势种

不同养殖区大型底栖动物的优势种见表 2。海带养殖区优势种有 5 种,分别为薄云母蛤、日本大螯蜚、薄片镜蛤、小刀蛭和毛蚶;牡蛎养殖区有 4 种,分别为薄云母蛤、滑指矾沙蚕、日本强鳞虫和日本倍棘蛇尾;网箱养殖区有 9 种,分别为洼颚倍棘蛇尾、丽核螺、纵肋织纹螺、智利巢沙蚕、棘刺锚参、日本倍棘蛇尾、岩虫、日本强鳞虫和毛蚶。

2.3 数量

2.3.1 栖息密度

不同养殖区各站位大型底栖动物栖息密度见图 2。海带、牡蛎和网箱养殖区大型底栖动物平均栖息密度分别为 (132 ± 71) 个/ m^2 、 (94 ± 91) 个/ m^2 和 (210 ± 132) 个/ m^2 。栖息密度不同养殖区间差异显著($F_{2,53} =$

5.91, $P < 0.01$), 不同调查站位间亦存在差异显著 ($F_{4,53} = 3.37, P < 0.05$)。Tukey 多重比较结果显示, 海带养殖区分别与牡蛎和网箱养殖区间无显著差异 ($P = 0.509; P = 0.071$), 牡蛎和鱼类网箱养殖区间存在显著差异 ($P < 0.01$)。

表 2 不同养殖区大型底栖动物优势种
Table 2 Dominant species of macrobenthos in different mariculture areas

类型 Type	种名 Species	优势度指数 Dominance index (Y)
海带养殖区 Sea tangle culture area	薄云母蛤 <i>Yoldia similis</i>	0.085
	日本大螯蜚 <i>Grandidierella japonica</i>	0.035
	薄片镜蛤 <i>Dosinia laminata</i>	0.034
	小刀蛭 <i>Cultellus attenuatus</i>	0.027
	毛蚶 <i>Scapharca subcrenata</i>	0.024
牡蛎养殖区 Oyster-culture area	薄云母蛤 <i>Yoldia similis</i>	0.094
	滑指矶沙蚕 <i>Eunice indica</i>	0.051
	日本强鳞虫 <i>Sthenolepis japonica</i>	0.034
	日本倍棘蛇尾 <i>Amphioplus japonicus</i>	0.021
网箱养殖区 Fish cage-culture area	洼颚倍棘蛇尾 <i>Amphioplus depressus</i>	0.202
	丽核螺 <i>Mitrella bella</i>	0.137
	纵肋织纹螺 <i>Nassarius variciferus</i>	0.116
	智利巢沙蚕 <i>Diopatra chilensis</i>	0.061
	棘刺锚参 <i>Protankyra bidentata</i>	0.047
	日本倍棘蛇尾 <i>Amphioplus japonica</i>	0.031
	岩虫 <i>Marphysa sanguinea</i>	0.024
	日本强鳞虫 <i>Sthenolepis japonica</i>	0.022
	毛蚶 <i>Scapharca subcrenata</i>	0.022

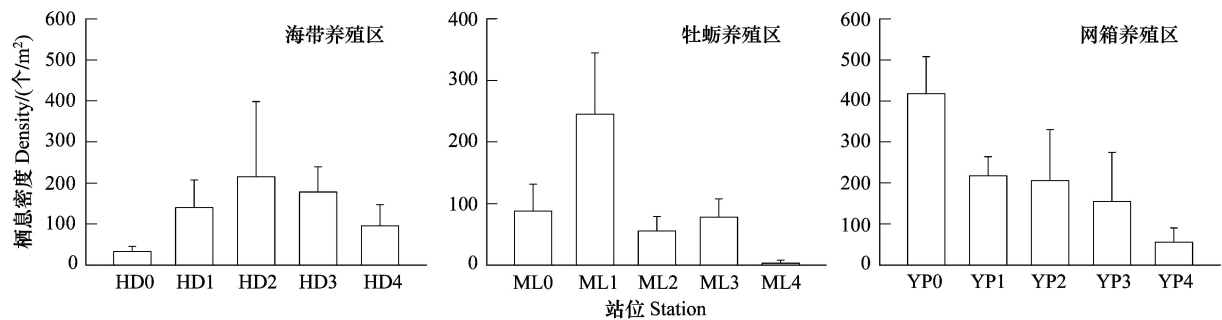


图 2 不同养殖区大型底栖动物栖息密度的站位间变化(平均值 ± 标准差)
Fig. 2 Station change of macrobenthos density in different mariculture areas (mean ± SD)

2.3.2 生物量

不同养殖区各站位大型底栖动物生物量见图 3。海带、牡蛎和网箱养殖区大型底栖动物平均生物量分别为 $(26.51 \pm 11.06) \text{ g/m}^2$ 、 $(53.03 \pm 61.94) \text{ g/m}^2$ 和 $(108.80 \pm 73.56) \text{ g/m}^2$ 。生物量不同养殖区间差异显著 ($F_{2,53} = 8.61, P < 0.01$), 不同调查站位间亦存在差异显著 ($F_{4,53} = 3.68, P = 0.010$)。Tukey 多重比较结果显示, 海带养殖区和牡蛎养殖区间无显著差异 ($P = 0.396$), 海带养殖区和牡蛎养殖区分别与网箱养殖区间显著差异 ($P < 0.001; P < 0.05$)。

2.4 大型底栖动物 ABC 曲线

不同养殖区大型底栖动物群落 ABC 曲线见图 4。结果显示, 网箱养殖区大型底栖动物群落的 ABC 曲线出现明显的翻转和交叉, 表明该养殖区大型底栖动物群落处于扰动状态中, 反映出该区域的生态环境受到明

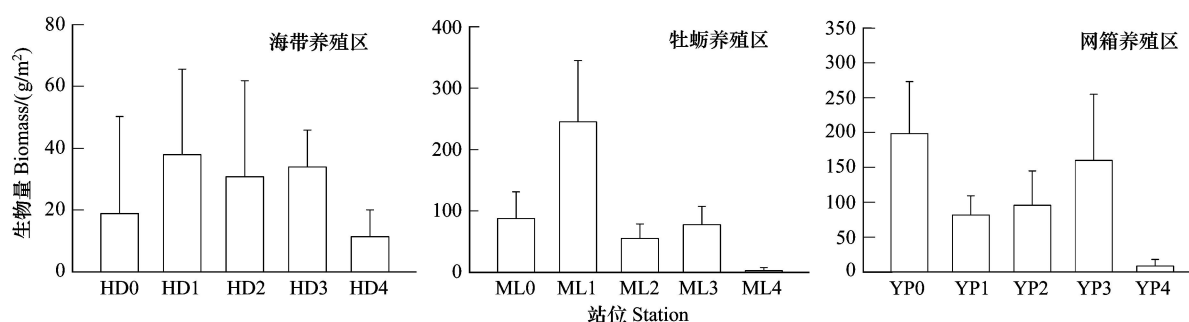


图3 不同养殖区大型底栖动物生物量的站点间变化(平均值 ± 标准差)

Fig. 3 Station change of macrobenthos biomass in different mariculture areas (mean ± SD)

显的扰动,而海带和牡蛎养殖区大型底栖动物群落的 ABC 曲线则表明这 2 类处于未扰动状态中。

2.5 大型底栖动物与环境因子的关系

大型底栖动物群落主要类群与环境因子的 CCA 分析结果如图 5。Monte Carlo 显著性检验结果表明 CCA 的所有排序轴均呈显著性差异 ($P < 0.05$), 大型底栖动物群落主要类群与第 1 轴呈较强正相关的环境因子为盐度 ($r = 0.36$), 呈较强负相关的为总氮 ($r = -0.44$); 与第 2 轴呈较强正相关的环境因子为温度 ($r = 0.47$), 呈较强负相关的为总磷 ($r = -0.51$)。排序轴前 2 轴的特征值分别为 0.211 和 0.042, 第 1, 2 排序轴的物种和环境因子相关系数分别为 0.912 和 0.778, 排序轴 (1—2) 可解释物种-环境关系的 91.6%, 说明用环境变量可以很好的解释群落主要类群的变化情况 (表 3)。

3 讨论

3.1 与历史资料比较

20 世纪 80 年代象山港大型底栖生物年平均生物量和生物密度分别为 9.32 g/m^2 和 91.5 个/m^2 , 其中, 冬季数量最低, 平均生物量和生物密度分别为 2.24 g/m^2 和 32 个/m^2 [15], 与本次研究结果相比, 象山港海域大型底栖动物数量发生了较大的改变。本调查研究中发现大型底栖动物生物量和栖息密度在不同养殖区间存在显著性差异, 平均生物量为网箱养殖区 > 牡蛎养殖区 > 海带养殖区; 平均栖息密度为网箱养殖区 > 海带养殖区 > 牡蛎养殖区, 大型底栖动物在不同养殖区间的数量分布规律与高爱根等 [7] 报道的基本一致, 鱼类网箱养殖和牡蛎养殖过程中产生的有机质为大型底栖生物生长提供了来源。另外, 高爱根等 [7] 调查鱼类网箱养殖中心区时未发现大型底栖生物, 而本次调查研究发现鱼类网箱养殖区中心点的大型底栖动物栖息密度和生物量均显著高于其他站位, 形成这种差异的原因可能是由于受经济形势的影响, 近年来该调查海域鱼类养殖网箱的数量逐渐减少以及鱼类养殖密度逐渐降低, 另外

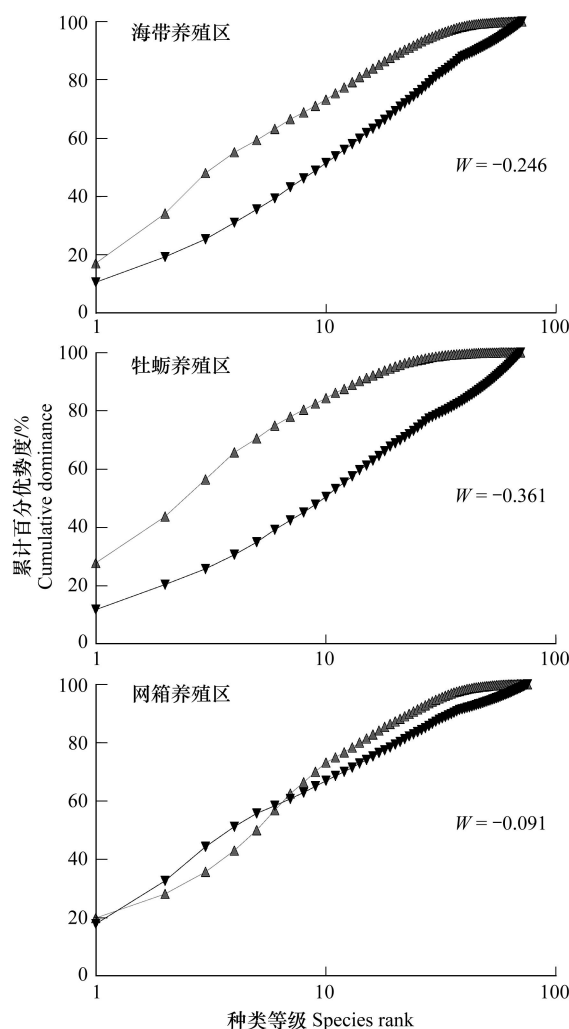


图4 不同养殖区大型底栖动物群落 ABC 曲线

Fig. 4 ABC plots of macrobenthic communities in different mariculture areas

I. 海带养殖区; II. 牡蛎养殖区; III. 网箱养殖区

本次调查时间为 2 月份,这段时间一般情况不对养殖鱼类进行人工投喂,因此底质环境受扰动程度得到缓解,但该区域有机质含量仍然较高,促进了具有较强耐污能力的种类大量繁殖^[16-17],这与本文中不同养殖区大型底栖动物优势种的比较结果相符合。从种群的繁殖策略上来说,环境受到扰动使得海域中寿命长、具有高竞争力的 *k*-对策种的优势地位逐渐丧失,而被寿命短、适应能力宽、具有高繁殖能力的 *r*-对策种所取代,以适应越来越不稳定的自然环境^[18]。

表 3 排序轴特征值、种类与环境因子排序轴的相关系数

Table 3 Eigenvalues for CCA axis and species-environment correlations

排序轴 CCA axes	轴 1 Axis 1	轴 2 Axis 2	总惯量 Total inertia
特征值 Eigenvalues	0.211	0.042	0.413
种类与环境因子相关系数 Species-environment correlations	0.912	0.778	
排序轴对物种-环境关系的贡献率 Cumulative percentage variance of species-environment relation	76.4	91.6	

3.3 大型底栖动物群落 ABC 曲线比较

大型底栖动物群落 ABC 曲线结果表明,不同类型的养殖活动对象山港大型底栖动物群落的影响不同。鱼类网箱养殖区大型底栖动物群落处于扰动状态中,反映出该区域的生态环境受到明显的扰动,而海带和牡蛎养殖区处于未扰动状态中。主要由于鱼类养殖过程中,约 13%—23% 的 N、30%—70% 的有机碳和 55% 左右的 P 以残饵或鱼类排泄物等形式沉降到底质环境中,对底质环境造成严重污染^[19-22],杨俊毅等^[23]对乐清湾大型底栖生物群落的研究结果也证实了这一规律。

3.2 大型底栖动物与环境因子的关系

对大型底栖动物群落主要类群和环境因子进行了 CCA 分析,排序轴对物种-环境关系的贡献率结果表明用环境变量可以较好的解释大型底栖动物群落主要类群和优势种的变化情况。其中,影响大型底栖动物群落主要类群的环境因子有盐度、氧化还原电位、总氮和总磷等。Nanami 等^[24]研究认为中值粒径和盐度是显著影响大型底栖生物种类分布的主要环境因子。Lamprey 和 Armah^[25]发现在凯塔泻湖盐度、pH 值、沉积物中粘土的百分比含量以及浊度是影响大型底栖动物的主要环境因子。Glockzin 和 Zettler^[26]研究波罗的海波美拉尼亚湾大型底栖动物群落发现物种分布具有较强的水深梯度,并且与沉积物中的总有机碳和中值粒径等显著相关。可见,由于调查海域的差别,影响大型底栖动物的主要环境因素也不同,要深刻解释影响大型底栖动物的关键因素,需要多尺度长期的研究资料积累和对比分析,因此有待进一步深入研究。

致谢:感谢刘小涯、姚龙奎、于培松、张海娜等提供理化参数资料,感谢边贺东教授和冉莉华博士对文章写作给予的帮助。

References:

[1] Böhmer J, Zenker A, Ackermann B, Kappus B. Macrozoobenthos communities and biocenotic assessment of ecological status in relation to degree

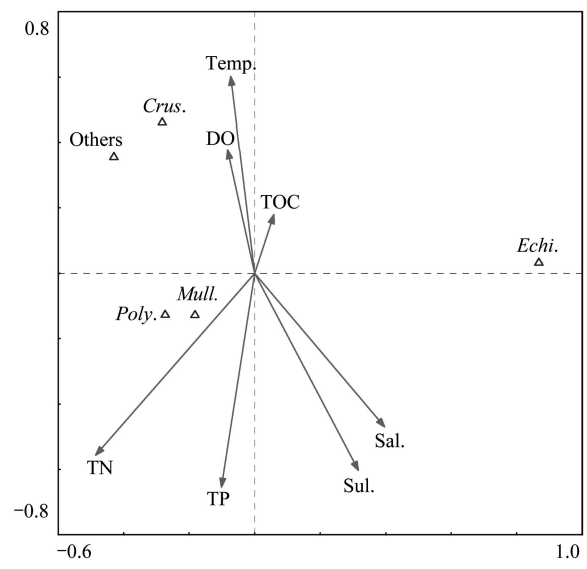


图 5 大型底栖动物群落主要类群与环境因子的 CCA 排序图

Fig. 5 CCA ordination diagrams of macrobenthic communities between major groups and environmental factors

Poly.: 多毛类 Polychaeta; Mull.: 软体动物 Mollusca; Crus.: 甲壳动物 Crustacean; Echin.: 棘皮动物 Echinodermata; Others: 其他动物

- of human impact in small streams in southwest Germany. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 2001, 8: 407-419.
- [2] Belan T A. Benthos abundance pattern and species composition in conditions of pollution in Amursky Bay (the Peter the Great Bay, the Sea of Japan). *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 46: 1111-1119.
- [3] Tomassetti P, Persia E, Mercatali I, Vani D, Marusso V, Porrello S. Effects of mariculture on macrobenthic assemblages in a western mediterranean site. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58 (4): 533-541.
- [4] Karakassis I, Tsapakis M, Hatziyanni E, Papadopoulou K N, Plaiti W. Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57 (5): 1462-1471.
- [5] Karakassis I, Tsapakis M, Smith C J, Rumohr H. Fish farming impacts in the Mediterranean studied through sediment profiling imagery. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 227: 125-133.
- [6] Papageorgiou N, Sigala K, Karakassis I. Changes of macrofaunal functional composition at sedimentary habitats in the vicinity of fish farms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 83 (4): 561-568.
- [7] Gao A G, Yang J Y, Chen Q Z, Wang Z P, Zhang J, Dong Y T, Ning X R. Comparative studies on macrobenthos between cultured and non-cultured areas in Xiangshan Bay. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27 (1): 25-31.
- [8] Dong L X, Su J L. Numerical study of the water exchange in the Xiangshangang Bay I. advection-diffusion water exchange model. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1999, 30 (4): 410-415.
- [9] Dong L X, Su J L. Numerical study of water exchange in Xiangshangang Bay II. model application and water exchange study. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1999, 30 (5): 465-470.
- [10] Gao S, Xie Q C, Feng Y J. Fine-grained sediment transport and sorting by tidal exchange in Xiangshan Bay, Zhejiang, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1990, 31 (4): 397-409.
- [11] State Administration of Technical Supervision. Standardization of Ocean Survey: Marine Biology. National Standard of People's Republic of China (GB/T 12763.9-2007). Beijing: China Standardization Press, 2007.
- [12] An C G, Zhao Y L, Lin L, Li J Y, Cui L L, Ma C Y. The biodiversity of macrobenthos of intertidal zone on Chongming Island in summer. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (2): 577-586.
- [13] Shou L, Zeng J N, Liao Y B, Zhao Y Q, Jiang Z B, Chen Q Z, Gao A G, Yang J X. Seasonal distribution of macrozoobenthos and its relations to environmental factors in Oujiang River estuary sea area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20 (8): 1958-1964.
- [14] Han J, Zhang Z N, Yu Z S. Macrobenthic community structure in the southern and central Bohai Sea, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (3): 531-537.
- [15] Edition Committee of the Bay Chorography in China. The Bay Chorography in China (5). Beijing: Ocean Press, 1992.
- [16] Karakassis I, Hatziyanni E, Tsapakis M, Plaiti W. Benthic recovery following cessation of fish farming: a series of successes and catastrophes. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 184: 205-218.
- [17] Rosenberg R, Agrenius S, Hellman B, Nilsson H C, Norling K. Recovery of marine benthic habitats and fauna in a Swedish fjord following improved oxygen conditions. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 234: 43-53.
- [18] Liu L S, Meng W, Tian Z Q, Cai Y L. Distribution and variation of macrobenthos from the Changjiang Estuary and its adjacent waters. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (7): 3027-3034.
- [19] Weston D P. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Marine Ecology Progress Series*, 1990, 61: 233-244.
- [20] Hall P O J, Anderson L G, Holby O, Kollberg S, Samuelsson M O. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Marine Ecology Progress Series*, 1990, 61: 61-73.
- [21] Holby O, Hall P O. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, 70: 263-272.
- [22] Holmer M, Kristensen E. Impact of marine fish cage farming on metabolism and sulfate reduction of underlying sediments. *Marine Ecology Progress Series*, 1992, 80: 191-201.
- [23] Yang J Y, Gao A G, Ning X R, Zhang D S. characteristics on macrofauna and the responses on aquaculture in Yueqing Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (1): 34-41.
- [24] Nanami A, Saito H, Akita T, Motomatsu K, Kuwahara H. Spatial distribution and assemblage structure of macrobenthic invertebrates in a brackish lake in relation to environmental variables. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 63: 167-176.

- [25] Lamptey E, Armah A K. Factors affecting macrobenthic fauna in a tropical hypersaline coastal lagoon in Ghana, West Africa. *Estuaries and Coasts*, 2008, 31 (5): 1006-1019.
- [26] Glockzin M, Zettler M L. Spatial macrozoobenthic distribution patterns in relation to major environmental factors — A case study from the Pomeranian Bay (southern Baltic Sea). *Journal of Sea Research*, 2008, 59 (3): 144-161.

参考文献:

- [7] 高爱根, 杨俊毅, 陈全震, 王自磐, 张健, 董永庭, 宁修仁. 象山港养殖区与非养殖区大型底栖生物生态比较研究. *水产学报*, 2003, 27 (1): 25-31.
- [8] 董礼先, 苏纪兰. 象山港水交换数值研究 I. 对流-扩散型的水交换模式. *海洋与湖沼*, 1999, 30 (4): 410-415.
- [9] 董礼先, 苏纪兰. 象山港水交换数值研究 II. 模型应用和水交换研究. *海洋与湖沼*, 1999, 30 (5): 465-470.
- [11] 国家技术监督局. 海洋调查规范, 海洋生物调查, 中华人民共和国国家标准 GB/T 12763.9-2007. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [12] 安传光, 赵云龙, 林凌, 李嘉尧, 崔丽丽, 马春艳. 崇明岛潮间带夏季大型底栖动物多样性. *生态学报*, 2008, 28 (2): 577-586.
- [13] 寿鹿, 曾江宁, 廖一波, 赵永强, 江志兵, 陈全震, 高爱根, 杨家新. 瓯江口海域大型底栖动物分布及其与环境的关系. *应用生态学报*, 2009, 20 (8): 1958-1964.
- [14] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构. *生态学报*, 2004, 24 (3): 531-537.
- [15] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第五分册). 北京: 海洋出版社, 1992.
- [18] 刘录三, 孟伟, 田自强, 蔡玉林. 长江口及毗邻海域大型底栖动物的空间分布与历史演变. *生态学报*, 2008, 28 (7): 3027-3034.
- [23] 杨俊毅, 高爱根, 宁修仁, 张东声. 乐清湾大型底栖生物群落特征及其对水产养殖的响应. *生态学报*, 2007, 27 (1): 34-41.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 2011

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

