

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 4 期
Vol.31 No.4
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 4 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

短期增温对青藏高原高寒草甸植物群落结构和生物量的影响	李 娜,王根绪,杨 燕,等 (895)
三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义	陶 敏,鲍大川,江明喜 (906)
白蜡虫及其 3 种优势寄生蜂的时空生态位	王自力,陈 勇,陈晓鸣,等 (914)
宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性	贺 奇,王新谱,杨贵军 (923)
脂肪酸对中华哲水蚤摄食两种海洋微藻的指示作用	刘梦坛,李超伦,孙 松 (933)
安徽菜子湖大型底栖动物的群落结构特征	徐小雨,周立志,朱文中,等 (943)
乐清湾潮间带大型底栖动物群落分布格局及其对人类活动的响应	彭 欣,谢起浪,陈少波,等 (954)
海蜃养殖对池塘底泥营养盐和大型底栖动物群落结构的影响	冯建祥,董双林,高勤峰,等 (964)
竹巴笼矮岩羊 (<i>Pseudois schaeferi</i>) 昼间行为节律和时间分配	刘国库,周材权,杨志松,等 (972)
干热河谷植物叶片,树高和种子功能性状比较	郑志兴,孙振华,张志明,等 (982)
石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化	马全林,张德魁,刘有军,等 (989)
基于 TM 影像、森林资源清查数据和人工神经网络的森林碳空间分布模拟	汪少华,张茂震,赵平安,等 (998)
山地视觉景观的 GIS 评价——以广东南昆山国家森林公园为例	裘亦书,高 峻,詹起林 (1009)
基于功能分类的城市湿地公园景观格局——以西溪湿地公园为例	李玉凤,刘红玉,郑 因,等 (1021)
水分胁迫下丛枝菌根 AM 真菌对民勤绢蒿生长与抗旱性的影响	贺学礼,高 露,赵丽莉 (1029)
农田灌溉对印度区域气候的影响模拟	毛慧琴,延晓冬,熊 喆,等 (1038)
高大气 CO ₂ 浓度下小麦旗叶光合能量利用对氮素和光强的响应	张绪成,于显枫,马一凡,等 (1046)
豌豆过氧化氢酶在烟草叶绿体中的过量表达提高了植物的抗逆性	王凤德,衣艳君,王海庆,等 (1058)
不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价	王树刚,王振林,王 平,等 (1064)
基于遥感与模型耦合的冬小麦生长预测	黄 彦,朱 艳,王 航,等 (1073)
喷施 ABA 对两个穗型不同小麦穗颈节伤流、穗部性状及产量的影响	崔志青,尹燕枰,田奇卓,等 (1085)
“稻鸭共生”生态系统稻季 N、P 循环	张 帆,隋 鹏,陈源泉,等 (1093)
红壤丘陵区粮食生产的生态成本	李 晓,谢永生,张应龙,等 (1101)
甘南牧区草畜平衡优化方案与管理决策	梁天刚,冯琦胜,夏文韬,等 (1111)
黄龙钙化滩流地物种-面积关系	黄宝强,罗毅波,安德军,等 (1124)
杉木人工林细根寿命的影响因素	凌 华,袁一丁,杨智杰,等 (1130)
长白落叶松林龄序列上的生物量及碳储量分配规律	巨文珍,王新杰,孙玉军 (1139)
生物肥与甲壳素和恶霉灵配施对香蕉枯萎病的防治效果	张志红,彭桂香,李华兴,等 (1149)
北京城区不同水质水体可培养细菌数量的季节动态变化	高 程,黄满荣,陶 爽,等 (1157)
专论与综述	
整树水力导度协同冠层气孔导度调节森林蒸腾	赵 平 (1164)
植物寄生对生态系统结构和功能的影响	李钧敏,董 鸣 (1174)
加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展	杨如意,答树婷,唐建军,等 (1185)

海蜇养殖对池塘底泥营养盐和大型底栖动物群落结构的影响

冯建祥, 董双林, 高勤峰*, 孙侦龙, 王芳, 张凯

(中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室, 青岛 266003)

摘要: 2009年5—9月, 对荣成靖海湾大型养殖池塘海蜇 (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) 养殖期间与养殖期前后底泥营养盐及大型底栖动物群落结构变化进行了研究。结果表明, 7月份海蜇养殖期间, 由于海蜇的避光性而产生的上下浮动的行为特征造成了对水体的扰动作用, 与海蜇的生物沉积作用共同导致养殖海区(实验点)与邻近非养殖海区(对照点)之间各项底泥营养盐指标均存在显著性差异, 其中, 实验点氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝氮($\text{NO}_3\text{-N}$)和沉降速率(sedimentation rate, SR)显著高于对照点, 实验点叶绿素a(Chla)、总有机物(TOM)和总有机碳(TOC)含量显著低于对照点。多变量聚类分析结果表明, 海蜇养殖对养殖池塘的大型底栖动物群落结构产生显著影响, 并且7月份实验点大型底栖动物生物多样性指数(H')和均匀度指数(J)随海蜇放养显著增大, 并显著高于对照点。大型底栖动物群落多样性指数与沉降速率(SR)和底泥TOM含量分别表现出显著正相关和负相关, 而与其他营养盐指标无显著相关性。

关键词: 海蜇养殖; 底泥营养盐; 大型底栖动物; 生物多样性

The effects of jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) farming on the sediment nutrients and macrobenthic community

FENG Jianxiang, DONG Shuanglin, GAO Qinfeng*, SUN Zhenlong, WANG Fang, ZHANG Kai

Key Laboratory of Mariculture, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266003, China

Abstract: To study the effects of jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) farming activities on the sediment nutrients and the structure of macrobenthic community, an experimental station within the farming pond and a reference station adjacent to the farming zone were set in JingHai Bay mariculture zone and samples were collected from both stations between May 2009 and September 2009 to compare the spatio-temporal changes in the biotic and abiotic conditions due to jellyfish farming. $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, Chla, TOM, TOC of sediment and sedimentation rate (SR) were analyzed. The macrobenthos ($>0.5\text{mm}$) presented in the sediment were sampled, identified and enumerated. During the three sampling months, significant differences of sediment nutrients except TOC at experimental station and of $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and Chla at reference station were observed. In July 2009, when the jellyfish were extensively cultured, the sediment $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and SR levels at experimental station were significantly higher than those at reference station, while Chla, TOM and TOC levels were significantly lower than those at reference station. In the other two sampling months, no significant differences of sediment nutrients except Chla in September were observed. As for the structure of the benthic communities, 15 kinds of dominant species were collected in all. Nine kinds of the dominant species were polychaete, two kinds were crustacean and four kinds were mollusc. All the collected macrobenthic invertebrates were common species in intertidal zone in North China. In May 2009, *Musculus senhousia* Benson accounted for 91.53% and 89.25% at experimental station and reference station respectively. The proportion of polychaete among the macrobenthos at experimental station risen in July and

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30871931); 国家“十二五”科技支撑计划课题资助项目(2011BAD13B03); 国家海洋公益性行业科研专项资助项目(200905020)

收稿日期: 2010-01-02; **修订日期:** 2010-02-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qfgao@ouc.edu.cn

September 2009 due to the farming activity of jellyfish. Shannon-Wiener's diversity index (H') and Pielou's evenness index (J) increased significantly with the cultivation of jellyfish at experimental station in July 2009 and the two indexes were significantly higher than those at reference station. Analysis of similarity for abundance of macrobenthos revealed that the similarity of macrobenthic community between experimental station and reference station was 90% in May 2009 and was approximately 50% in July and September 2009. The similarity of abundance of macrobenthos for both of the experimental station and reference station between July 2009 and September 2009 were approximately 70%. The W values of Abundance - biomass - comparison plots of each sampling month were 0.01, 0.308 and -0.128 for experimental station and 0.015, 0.03 and 0.109 for reference station. The results of ABC plots were consistent with the variation of the Shannon-Wiener's diversity index. Analysis of correlations showed that the Shannon-Wiener's diversity index (H') was remarkably positively correlated with Pielou's evenness index (J). Both the Shannon-Wiener's diversity index (H') and Pielou's evenness index (J) had negative correlations with the TOM and positive correlations with SR. The TOM of sediment was negatively correlated with sedimentation rate.

Key Words: *Rhopilema esculentum* Kishinouye; sediment nutrient; macrobenthic community; biodiversity

海蜇 (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) 隶属于腔肠动物门, 钵水母纲, 根口水母目, 是我国渔业传统捕捞对象, 具有很高的经济价值^[1]。海蜇不仅营养丰富, 还对治疗高血压, 慢性支气管炎等具有一定的药用价值^[2-3]。自 20 世纪 70 年代以来, 由于对幼蜇及渔场附着条件的破坏等原因, 海蜇捕捞产量显著下降^[4-5], 促使我国迅速开展了海蜇的增殖放流及工厂化育苗和池塘养殖工作, 仅辽宁省 2003 年海蜇养殖面积已达 8000 hm^2 , 产值上亿元^[6]。海水养殖过程中, 高密度集中放养养殖动物, 由于动物的摄食、排泄等生理活动及投饵、施肥等养殖活动, 导致养殖池塘底泥营养盐负荷的改变, 生态环境的改变又进一步造成底栖生物群落结构发生变化^[7-9]。大型底栖动物因其定居的生活习性和相对较长的生命期, 其群落结构特征可作为一个重要的反映环境变化的指标^[9]。相关研究在其它养殖品种已有较多报道^[9-11], 因海蜇大规模养殖开展时间不久, 尚未见相关研究报道。本研究通过监测海蜇养殖期间底泥中营养盐的变化以及大型底栖动物群落结构的变化, 探讨了海蜇养殖活动对养殖池塘生态系统的影响。

1 材料和方法

1.1 实验地点

本实验于 2009 年 5 月 15 日至 2009 年 9 月 15 日在山东荣成好当家集团靖海湾 (36°86'N, 122°13'E) 大面积海蜇养殖池塘内进行。实验池塘面积 180 hm^2 , 平均水深为 2.5 m。海蜇养殖区域由聚氯乙烯小孔径围网包围。实验期间海蜇初始放养规格为伞径 1.5—2 cm, 密度为 0.5 个/ m^2 。该实验在围网内外各设置一个采样点分别做实验点和对照点, 两个采样点距离围网距离均为 100 m。

1.2 样品采集、处理和分析:

在 2009 年 5 月中旬, 7 月中旬, 9 月中旬即海蜇放养前, 海蜇养殖期间以及采收后分别采样一次。

1.2.1 沉降及底泥采集与处理

在采样点悬挂沉降管, 每个点 3 个重复, 每次悬挂 5d, 收集水体沉降后, 50 °C 低温烘干研磨, 称重计算沉降速率 (SR: $\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$); 底泥利用采泥器采集后取表层 5 cm 底泥 50 °C 低温烘干研磨。以靛酚蓝法测定氨态氮 ($\text{NH}_4\text{-N}$); 以镉柱还原法测定硝态氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$)^[12]; 丙酮萃取后 665 nm 和 750 nm 波长下测定叶绿素 a (Chla) 含量; 用 Vario EL III 德国元素分析仪测定总有机碳 (TOC); 马弗炉 550 °C 灼烧底泥样 6h 测定总有机物 (TOM) 含量。

1.2.2 大型底栖动物采集及处理

利用采泥器定量采集底泥, 每个点 5 个重复, 采得的泥样经过孔径为 0.5 mm 的筛网筛选, 所得底栖动物样品处理、保存、计数、称重等均按《海洋调查规范》^[13]进行。丰度单位为个/ m^2 , 生物量单位为 g/m^2 。

1.3 底栖群落数据处理

每个采样点的 5 个底栖动物重复混合后分析,运用物种多样性指数、物种均匀度指数、物种丰富度指数和丰度-生物量比较的 Warwick 统计参数(W)对大型底栖动物群落结构进行分析比较。

物种多样性的计算采用 Shannon-Wiener's 指数(H'),其公式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

物种丰富度指数(D)计算采用 Margalef 的计算公式:

$$D = (S - 1) / \log_2 N$$

物种均匀度指数(J)采用 Pielou 的计算公式:

$$J = H' / \log_2 S$$

式中, N 为底泥样品中所有种类的总个体数; S 为底泥样品中的种类总数; P_i 为第 i 种的个体数与样品中的总个数的比值(N_i/N)。

为比较大型底栖动物群落结构之间的相似性,先使用 Bray-Curtis 参数计算相关矩阵,即:

$$S_{jk} = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right)$$

式中, S_{jk} 代表第 j 个和第 k 个样品, y_{ij} 代表第 i 个物种在第 j 个样品的个体数量,然后样品之间底栖动物群落结构的相似性采用多变量聚类分析法进行比较。

以上数据分析均由 PRIMER5 软件包^[14]完成。

2 结果

2.1 底泥营养盐变化

实验期间底泥营养盐变化见图 1。实验点的 $\text{NH}_4\text{-N}$ ($F_{2,7} = 133.51, P < 0.05$)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($F_{2,10} = 4.47, P < 0.05$)、 Chla ($F_{2,9} = 31.2, P < 0.05$)、 TOM ($F_{2,10} = 6.62, P < 0.05$)和 SR ($F_{2,6} = 191.5, P < 0.05$)含量在 3 个采样月间差异显著,TOC 含量在整个采样期间差异不显著。其中,实验点 7 月份 $\text{NH}_4\text{-N}$ 显著高于 5、9 月份,9 月份 $\text{NH}_4\text{-N}$ 高于 5 月份,但差异不显著; Chla 和 TOM 含量 5 月份显著高于 7、9 月份,9 月份值高于 7 月份,但差异不显著; $\text{NO}_3\text{-N}$ 水平 9 月份显著高于 5、7 月份,5 月份值高于 7 月份,但差异不显著; SR 水平 7 月份显著高于 5、9 月份,9 月份高于 5 月份,但差异不显著。对照点的 $\text{NH}_4\text{-N}$ ($F_{2,9} = 80.34, P < 0.05$)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($F_{2,12} = 13.81, P < 0.05$)、 Chla ($F_{2,9} = 5.42, P < 0.05$)在 3 个采样月间存在显著性差异,TOC、TOC 含量和 SR 月份之间差异不显著。对照点 7 月份 $\text{NH}_4\text{-N}$ 水平显著高于 5、9 月份,5 月份值高于 9 月份,但差异不显著;7 月份 $\text{NO}_3\text{-N}$ 显著低于 5、9 月份,9 月份高于 5 月份,但差异不显著; Chla 含量 7 月份显著低于 5 月份,5 月份显著高于 9 月份,9 月份高于 7 月份无显著性差异。

对于各个采样月,实验点与对照点各营养盐指标在海蜇放养前的 5 月份均无显著性差异;而海蜇放养的 7 月份,各个营养盐指标都表现出了显著性差异,其中实验点 $\text{NH}_4\text{-N}$ ($t_5 = 2.69, P < 0.05$)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($t_8 = 3.68, P < 0.05$)和 SR ($t_4 = 7.68, P < 0.05$)显著高于对照点,而实验点 Chla ($t_5 = -5.02, P < 0.05$)、 TOM ($t_6 = -3.453, P < 0.05$)和 TOC ($t_6 = -5.04, P < 0.05$)含量显著低于对照点。海蜇采收后的 9 月份,除实验点 Chla ($t_7 = -0.471, P < 0.05$)显著低于对照点外,两站点之间其他营养盐指标均不存在显著差异。

2.2 大型底栖动物群落结构和多样性指数

2.2.1 种类组成

3 个采样月采集的大型底栖动物优势种共 15 种,其中多毛类 9 种,甲壳动物 2 种,软体动物 4 种。在组成上均为我国北方沿海潮间带常见种,各站点主要优势种名录见表 1。从表中可以看出,多毛类主要以棒毛拟隐鳞虫 (*Hermadionella truncate* Moore),蚕光稚虫 (*Spiophanes bombyx* Claparede),双形拟单指虫 (*Cossulella*

dimorpha Hartman) 为主。凸壳肌蛤 (*Musculus senhousia* Benson) 是软体动物最主要的优势种。

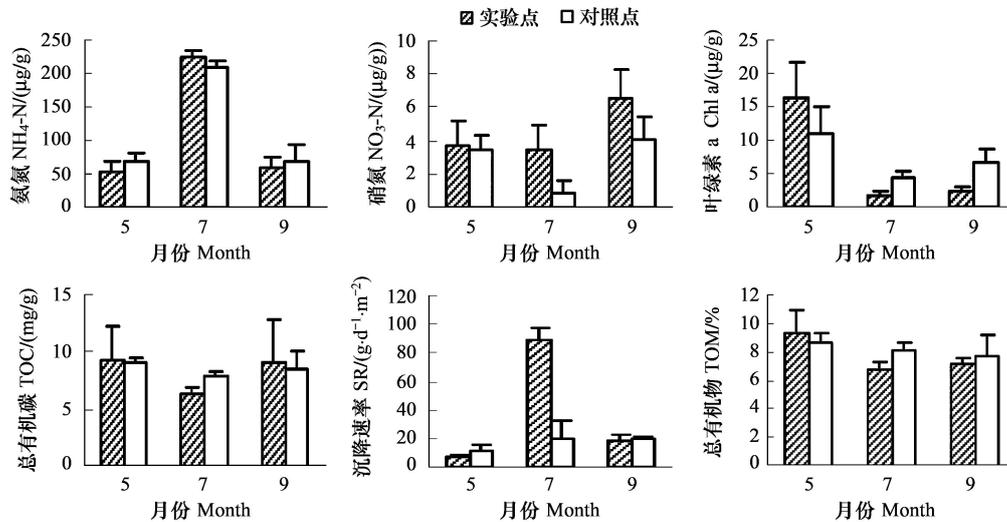


图1 海蜇养殖期间底泥营养盐变化

Fig. 1 Sediment chemical characteristics of each station for each sampling month

表1 各采样月各站点前五位优势种(数值为占样品总数的百分比)

Table 1 The top five dominant species collected at each station for each sampling month (number = % of total individuals recorded)

时间 Time	实验点 Experimental station	百分比 /%	对照点 Reference station	百分比 /%
2009-05	凸壳肌蛤 <i>Musculus senhousia</i> Benson	91.53	凸壳肌蛤 <i>Musculus senhousia</i> Benson	89.25
	圆筒原盒螺 <i>Eocylichna cylindrella</i> Yokoyama	2.74	棒毛拟隐鳞虫 <i>Hermadionella truncate</i> Moore	3.05
	长双须虫 <i>Eteone longa</i> Fabricius	2.11	长双须虫 <i>Eteone longa</i> Fabricius	2.73
	棒毛拟隐鳞虫 <i>Hermadionella truncate</i> Moore	1.93	圆筒原盒螺 <i>Eocylichna cylindrella</i> Yokoyama	1.69
	美人虾 <i>Callinassa</i> spp	0.86	蚕光稚虫 <i>Spiophanes bombyx</i> Claparede	1.23
2009-07	双形拟单指虫 <i>Cossulella dimorpha</i> Hartman	21.14	凸壳肌蛤 <i>Musculus senhousia</i> Benson	90.18
	蚕光稚虫 <i>Spiophanes bombyx</i> Claparede	19.51	蚕光稚虫 <i>Spiophanes bombyx</i> Claparede	1.91
	美人虾 <i>Callinassa</i> spp	17.89	双形拟单指虫 <i>Cossulella dimorpha</i> Hartman	1.77
	岩虫 <i>Marphysa sanguinea</i> Montagu	11.38	岩虫 <i>Marphysa sanguinea</i> Montagu	1.23
	凸壳肌蛤 <i>Musculus senhousia</i> Benson	8.94	秀丽织纹螺 <i>Nassarius festivus</i> Powys	1.23
2009-09	矛毛虫 <i>Phylo felix</i> Kinbeg	36.7	凸壳肌蛤 <i>Musculus senhousia</i> Benson	66.42
	美人虾 <i>Callinassa</i> spp	30.85	美人虾 <i>Callinassa</i> spp	10.95
	蚕光稚虫 <i>Spiophanes bombyx</i> Claparede	18.62	蚕光稚虫 <i>Spiophanes bombyx</i> Claparede	9.85
	日本角吻沙蚕 <i>Goniada japonica</i> Izuka	5.32	菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i> Adams & Reeve	6.93
	双形拟单指虫 <i>Cossulella dimorpha</i> Hartman	3.72	棒毛拟隐鳞虫 <i>Hermadionella truncate</i> Moore	2.19

实验点和对照点底栖动物 5 月份均是凸壳肌蛤为比例最高的优势种;随着海蜇的放养,7 月份实验点多毛类成为优势种,凸壳肌蛤的数量明显下降,而对照点凸壳肌蛤所占比例依旧最高;海蜇采收后的 9 月份实验点多毛类占有优势,甲壳动物美人虾的比例上升,对照点凸壳肌蛤的比例明显下降,多毛类和美人虾的比例增大。

2.2.2 多样性指数

3 个采样月两个站点的 Shanon-Wiener 指数 (H')、丰富度指数 (D) 和均匀度指数 (J) 见表 2。实验点 Shanon-Wiener 指数 (H') 和丰富度指数及均匀度指数 (J) 均是 7 月份 > 9 月份 > 5 月份;对照点的排列顺序则分别为 9 月份 > 5 月份 > 7 月份、7 月份 > 9 月份 > 5 月份和 9 月份 > 7 月份 > 5 月份。实验点 7 月份 Shanon-Wiener 指数 (H') 和均匀度指数 (J) 显著高于对照点。

表 2 各采样月各站点多样性指数(E 为实验点,R 为对照点)

Table 2 The Shannon-Wiener (H'), Species Richness (D) and Pielou evenness (J) indices of macrobenthos (E: experimental station, R: reference station)

时间 Time	站点 Station	物种数 S	丰富度指数 D	均匀度指数 J	Shannon-Wiener's 指数 H'
2009-05	实验点 (E)	14	1.35	0.16	0.43
	对照点 (R)	15	1.51	0.20	0.55
2009-07	实验点 (E)	12	1.83	0.84	2.09
	对照点 (R)	13	1.54	0.21	0.53
2009-09	实验点 (E)	10	1.40	0.67	1.54
	对照点 (R)	9	1.17	0.53	1.17

对两个站点 3 个采样月的底栖生物丰度做相似性聚类分析(图 2)。从图中可以看出,5 月份实验点和对照点相似性达到 90%;在海蜇放养期的 7 月份和海蜇采收后的 9 月份,每个站点在 2 个月份之间相似性(70%)较高,但各个采样月两站点之间的相似性(50%)较低。

通过丰度和生物量的比较,对各月份两个站点的底栖动物群落做了丰度-生物量比较曲线(图 3)。实验点 5 月份、7 月份和 9 月份 W 值分别为 0.01、0.308 和 -0.128,对照点的 W 值分别为 0.015、0.03 和 0.109。由图可以看出,5 月份实验点和对照点丰度和生物量曲线均相距较近,这与 5 月份两个站点较低的多样性指数(H')一致(表 2 和图 2)。实验点 7 月份多样性指数增大,丰度和生物量之间距离随之增大;而 9 月份多样性指数降低,小个体机会种的多毛类和小型甲壳类占据优势,两曲线之间的距离亦随之减小。对照点丰度和生物量曲线之间的距离同样表现出和多样性指数相同的变化趋势。9 月份实验点的 W 值的突然降低,说明该区域池塘底部环境发生较大变化,导致小个体机会种数量的迅速增加。

2.2.3 多样性指数和底泥营养盐含量的关系

相关性分析表明,底栖动物的物种均匀度指数(J)和多样性指数之间(H')之间表现出极显著的相关性($r=0.99, P<0.01$)。均匀度指数(J)与底泥 TOM 含量间表现出负相关($r=-0.89, P<0.05$),与 SR 之间分别表现出正相关($r=0.97, P<0.01$)。多样性指数(H')与底泥 TOM 含量呈负相关($r=-0.87, P<0.05$),与 SR 呈正相关($r=0.94, P<0.05$)。其它底泥营养盐指标与多样性指数相关性均未达到显著性水平($P>0.05$)。底泥总有机物含量与沉降速率之间呈显著负相关($r=-0.88, P<0.05$)。

3 讨论

3.1 海水养殖对底泥营养盐及底栖动物群落结构的影响

贝类及鱼类相关研究表明,海水养殖对底泥营养盐和大型底栖动物群落结构造成显著影响。如贝类养殖中因贝类的强滤水能力使大量生物沉积物在底层堆积,增加了底泥中营养盐浓度^[10],加速无机盐从底层向水体释放,导致水体富营养化^[15]。而经济贝类如菲律宾蛤仔的大量养殖人为改变了底栖动物群落优势种,伴随养殖活动对大型底栖动物群落的扰动,使多样性指数和均匀度指数均显著降低^[11]。鱼类养殖活动同样会显著影响养鱼网箱及相邻区域营养盐状况,研究结果表明养殖网箱底部及附近区域底泥中有机物及氮含量相对非养殖区增加 1—5 倍^[16-17]。网箱养殖区底栖动物因有机物累积等原因使个体小的 r -选择机会种占据优

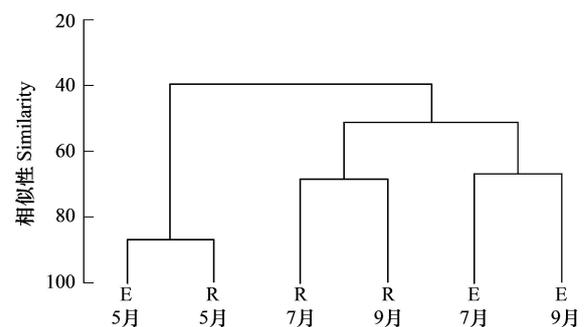


图 2 各采样月站点之间相似性聚类分析(E 代表实验点,R 代表对照点)

Fig. 2 Cluster analysis of similarity for each station of each month (E: experimental station, R: reference station)

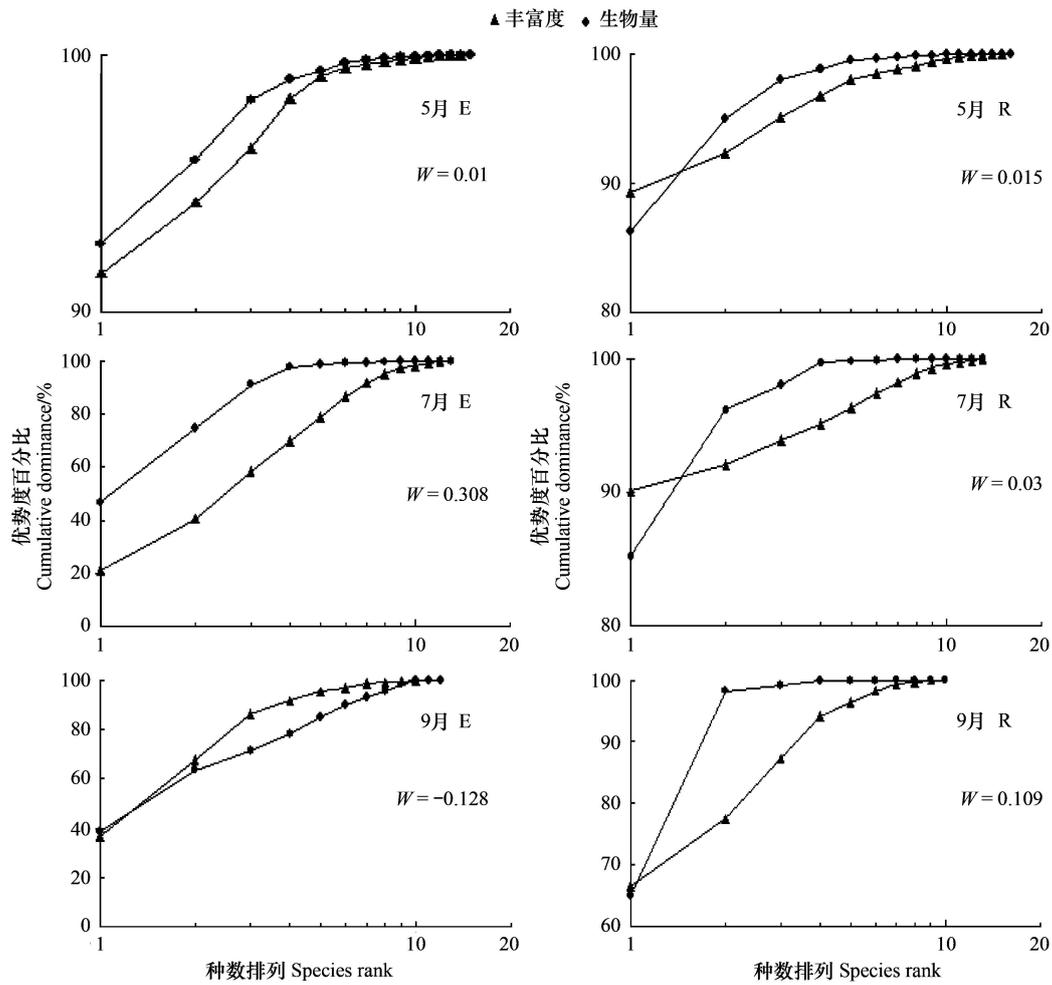


图 3 各采样月站点丰度-生物量曲线(E 代表实验点,R 代表对照点)

Fig. 3 ABC plots of each station for each sampling month(E: experimental station,R: reference station)

表 3 底栖动物多样性指数于底泥营养盐的相关性

Table 3 Correlation coefficients among biodiversity indices of benthic fauna and sediment chemical characteristic

项目 Item	丰富度指数 Margalef's richness <i>D</i>	Shannon- Wiener 指数 Shannon- Wiener diversity index <i>H'</i>	均匀度指数 Pielous's evenness index <i>J</i>	底泥氨氮 Sediment NH ₄ -N	底泥硝氮 Sediment NO ₃ -N	底泥叶 绿素 a Sediment Chla	底泥总 有机物 Sediment TOM	底泥总 有机碳 Sediment TOC
丰富度指数 <i>D</i>	1.00							
多样性指数 <i>H'</i>	0.44	1.00						
均匀度指数 <i>J</i>	0.34	0.99**	1.00					
底泥氨氮 NH ₄ -N	0.79	0.35	0.29	1.00				
底泥硝氮 NO ₃ -N	-0.37	0.39	0.44	-0.67	1.00			
底泥叶绿素 a Chla	-0.40	-0.69	-0.70	-0.60	-0.04	1.00		
底泥总有机物 TOM	-0.29	-0.87*	-0.89*	-0.38	-0.34	0.93*	1.00	
底泥总有机碳 TOC	0.23	-0.26	-0.31	0.5	-0.82	0.31	0.45	1.00
沉降速率 <i>SR</i>	0.16	0.94*	0.97**	0.24	0.41	-0.68	-0.88*	-0.24

** $P < 0.01$ * $P < 0.05$

势,导致生物多样性相对非养殖区显著降低^[14]。

3.2 海蜇养殖对底泥营养盐的影响

本实验中,海蜇放养前的5月份,实验点和对照点底泥各营养盐指标均无显著性差异,而在7月份,即海蜇养殖的高峰期,两个站点之间的营养盐含量均表现出显著性差异。实验点 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 SR 显著高于对照点,而实验点 Chla、TOM 和 TOC 含量显著低于对照点。大型水母有昼夜迁徙的生活习性^[18],夏季温度高光照强时,海蜇会下潜以躲避高温。海蜇的上下浮动,必然会对底泥表面造成频繁扰动,导致底泥表面颗粒再悬浮,从而显著增大了水体的沉降速率。沉降量的加大会降低水体透明度,同时大量沉降在底泥表面沉积覆盖,在很大程度上影响底泥表面底栖微藻的生长,因此海蜇放养区即实验点底泥叶绿素水平和 TOM 含量以及 TOC 含量显著低于对照点,底泥总有机物含量与沉降速率之间呈显著负相关关系,说明沉降物中,主要是以泥沙为主的无机物。夏季养殖池塘上下水层温差大,尽管本实验池塘水深较浅不会形成稳定的温跃层,但是夏季高温对池塘水体会产生类似温跃层的效应,降低了上下水层的交换,减少了表层水体溶解氧向底部水体的输送而导致底部水体及底泥溶解氧水平的降低,因此在自然水体夏季硝化反应水平通常最小^[19-20]。郑忠明等^[21]在本实验池塘的研究结果也表明,6、7月份,池塘底部沉积物由于溶氧水平低而处于还原环境,造成底泥沉积物表面硝酸盐浓度变低,而氨氮在夏季底泥水界面中则有较高的扩散通量,即底泥中氨氮含量较高,这与本实验结果一致。海蜇养殖区由于海蜇的下潜和上浮而产生的搅动动作,加大了上下层之间水体的交换,促进了溶解氧从表面向底部的输送,从而在海蜇养殖区及实验点底部水层仍然保持较高的溶解氧浓度,使海蜇养殖区的硝化反应仍然保持较高水平,因此放养海蜇的7月份,实验点的硝氮水平显著高于对照点。

3.3 海蜇养殖对大型底栖动物群落结构地影响

5月份海蜇放养前的采样,正值凸壳肌蛤的繁殖季节,使得凸壳肌蛤在底栖动物群落中比例占到90%的绝对优势,导致生物多样性水平很低。7月份实验点的生物多样性指数和均匀度指数随海蜇的大量养殖显著升高,并显著高于对照点。一般来说,水产养殖活动对生物多样性会产生负面影响,导致多样性指数明显降低^[9,22]。但海蜇养殖活动却明显的增大了养殖区底栖动物群落的生物多样性,大型底栖动物丰度相似性分析结果表明,海蜇养殖活动对底栖动物群落结构的影响大于季节变化的影响。推测其原因为,海蜇养殖期间,因为海蜇产生的生物沉积作用导致水体沉降量显著增大,到达水体底部的有机物总量增多,为底栖动物带来了充足的食物供给。实验点多样性指数在海蜇采收后明显下降,且小个体机会种的多毛类占据优势,因此丰度-生物量比较曲线的 W 指数减小($W = -0.128$),说明海蜇收获后,沉积作用降低,减少了对底栖动物食物的供给,导致其多样性指数降低,这与袁伟^[11]等的研究结果菲律宾蛤仔收获后生物沉积作用降低及收获行为对底栖动物群落扰动,导致物种多样性下降的结果类似。

3.4 多样性指数与营养盐之间的关系

表3表明底栖动物多样性指数和均匀度指数与 SR 表现出显著正相关($P < 0.05$),即在一定条件下,水体沉降速率越高,底栖动物群落多样性越高。这与7月份实验点沉降速率显著增大时多样性指数随之增大的结果一致。研究表明,某些特定物种或种群与有机物累积有一定相关性^[9,16],低氧且富含有机物的底泥中,少量小型沉积食性的多毛类会适应不利的环境成为优势种^[23],物种多样性水平随之降低,这与本实验中多样性指数与底泥 TOM 含量呈显著负相关关系的结果一致。

4 结论

本实验结果表明,在该实验海区,海蜇养殖,因为海蜇的上下浮动行为可以促进池塘上下层水体交换,保证底部水层充足溶解氧以增强硝化作用,促进对生物有害的氨转化为硝酸盐,同时因为海蜇的生物沉降作用,为养殖池塘底部的底栖生物提供更多的食物,提高了大型底栖动物群落的生物多样性,因此适宜密度的海蜇养殖有利于养殖池塘生态环境的改善。

References:

- [1] Hong H X. Jellyfish and *Rhopilema esculenta* Kishinouye. Bulletin of Biology, 2002, 37(2): 13-16.

- [2] Omori M, Nakano E. Jellyfish fisheries in southern Asia. *Hydrobiologia*, 2001, 451: 19-26.
- [3] Dong J, Jiang LX, Tan KF. Stock enhancement of edible jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) in Liaodong Bay, China: a review. *Hydrobiologia*, 2009, 616: 113-118.
- [4] Chen J K, Lu N, Liu C Y, Jiang S, Lu X M. Resource enhancement experiments in the edible medusa *Rhopilema Esculenta* Kishinouye in the coastal waters of northern yellow sea. *Marine Fisheries Research*, 1994, 15: 103-113.
- [5] Zhao B, Zhang X M, Chen S Q, Cheng Y X, Zhang Y. Effect of different environmental factors on early development of jellyfish, *Rhopilema esculenta* Kishinouye. *Marine Fisheries Research*, 2006, 27(1): 87-92.
- [6] Bi Y B, Liu C Y. Culture technique of rhopilema esculenta kishinouye in ponds. *Fisheries Science*, 2004, 23(5): 23-25.
- [7] Hall P O J, Anderson L G, Holby O, Kollberg S, Samueleson M O. Chemical fluxes and mass balance in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Marine Ecology Progress Series*, 1990, 61: 61-73.
- [8] Hall P O J, Holby O, Kollberg S, Samueleson M O. Chemical fluxes and mass balance in a marine fish cage farm. II. Nitrogen. *Marine Ecology Progress Series*, 1992, 89: 81-91.
- [9] Gao Q F, Cheung K L, Cheung S G, Shin P K S. Effect of nutrient enrichment derived from fish farming activities on macroinvertebrate assembles in a subtropical region of Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, 51: 994-1002.
- [10] Qin P B, Lu J W. Effect of filter-feeding bivalves on nutrient cycle of mariculture system: a review. *Marine Science*, 2001, 25(5): 27-29.
- [11] Yuan W, Zhang Z N, Yu Z S. Macrofaunal diversity in the western Jiaozhou Bay, Shandong. *Biodiversity Science*, 2007, 15(1): 53-60.
- [12] Lei Y Z. *Water Environmental Chemistry Experiment*. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [13] State Quality and Technical Supervision Administration. *The Specification for Oceanographic Survey: Marine Biological Survey*. Beijing: National Standard Press, 1991: 12-13.
- [14] Clarke K R, Warwick R M. *Changes in Marine Communities: an Approach to statistical Analysis and Interpretation*, second ed. Plymouth: PRIMER-E Ltd., 2001.
- [15] Baudinet D. Incidence of mussel culture on biogeochemical fluxes at the sediment water interface. *Hydrobiologia*, 1990, 207: 187-196.
- [16] Brown J R, Gowen R J, McLusky D S. The effect of salmon farming on the benthos of Scottish sea loch. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1987, 109: 39-55.
- [17] Karakassis I, Tsapakis M, Hatzilyanni E, Panadopoulou K N, Platiti W. Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57: 1462-1471.
- [18] Wu Y, Li H Y, Li S F, Chen J H. Review on the current situation of macro-jellyfish research and expectations. *Marine Fisheries*, 2008, 30(1): 80-87.
- [19] Liu H Y, Qu K M, Ma S S. Survey of both the variation and the abortion and consumption budget of dissolved oxygen in culture pond. *Marine Fisheries Research*, 2005, 26(2): 26.
- [20] Li G, Wu Z B, Hou Y S, Wu X H. Nitrogen biotransformation and its relative microorganism in aquaculture waters. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(1): 12-15.
- [21] Zheng Z M, Dong S L, Bai P F, Gao Q F, Dong Y W, Qin C X, Jin B C. Study on nutrient fluxes across sediment; water interface in different sea cucumber experimental enclosures. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(2): 209-214.
- [22] Beveridge M C M, Ross L G, Kelly L A. *Aquaculture and biodiversity*. *Ambio*, 1994, 23(8): 497-502.
- [23] Chareonpanich C, Montani S, Tsutsumi H, Nakamura H. Estimation of oxygen consumption of a deposit-feeding polychaete, *Capitella* sp. I. *Fisheries Science*, 1994, 60: 249-251.

参考文献:

- [1] 洪惠馨. 水母与海蜇. *生物学通报*, 2002, 37(2): 13-16.
- [4] 陈介康, 鲁男, 刘春洋, 蒋双, 吕雪梅. 黄海北部近岸水域海蜇放流增殖的实验研究. *海洋水产研究*, 1994, 15: 103-113.
- [5] 赵斌, 张秀梅, 陈四清, 成永旭, 张岩. 环境因子对海蜇早期幼体发育影响的生态学研究进展. *海洋水产研究*, 2006, 27(1): 87-92.
- [6] 毕远博, 刘春洋. 海蜇池塘养殖技术的初步研究. *水产科学*, 2004, 23(5): 23-25.
- [10] 秦培兵, 卢继武. 滤食性贝类对浅海养殖系统中营养盐循环的影响. *海洋科学*, 2001, 25(5): 27-29.
- [11] 袁伟, 张志南, 于子山. 胶州湾西部海域大型底栖动物多样性的研究. *生物多样性*, 2007, 15(1): 53-60.
- [12] 雷衍之. *养殖水环境化学实验*. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [13] 国家质量技术监督局. *海洋调查规范: 海洋生物调查*. 北京: 中国标准出版社, 1991: 12-13.
- [18] 吴颖, 李惠玉, 李圣法, 程家骅. 大型水母的研究现状及展望. *海洋渔业*, 2008, 30(1): 80-87.
- [19] 刘海英, 曲克明, 马绍赛. 养殖水体溶解氧变化及收支平衡研究概况. *海洋水产研究*, 2005, 26(2): 26.
- [20] 李谷, 吴振斌, 厚燕松, 吴晓晖. 养殖水体氮的生物转化及相关微生物研究进展. *中国生态农业学报*, 2006, 14(1): 12-15.
- [21] 郑忠明, 董双林, 白培峰, 高勤峰, 董云伟, 秦传新, 金波昌. 刺参不同养殖模式实验围隔内沉积物-水界面营养盐通量研究. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(2): 209-214.

CONTENTS

Short-term effects of temperature enhancement on community structure and biomass of alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau ... LI Na, WANG Genxu, YANG Yan, et al (895)

Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges Reservoir region and their implication to vegetation restoration ... TAO Min, BAO Dachuan, JIANG Mingxi (906)

Temporal-spatial niches of Chinese White Wax Scale insect (*Ericerus pela*) and its three dominant parasitoid wasps ... WANG Zili, CHEN Yong, CHEN Xiaoming, et al (914)

Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China ... HE Qi, WANG Xinpu, YANG Guijun (923)

Identification of trophic relationships between marine algae and the copepod *Calanus sinicus* in a fatty acid approach ... LIU Mengtan, LI Chaolun, SUN Song (933)

Community structure of macrozoobenthos in Caizi Lake, China ... XU Xiaoyu, ZHOU Lizhi, ZHU Wenzhong, et al (943)

The community distribution pattern of intertidal macrozoobenthos and the responses to human activities in Yueqing Bay ... PENG Xin, XIE Qilang, CHEN Shaobo, et al (954)

The effects of jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) farming on the sediment nutrients and macrobenthic community ... FENG Jianxiang, DONG Shuanglin, GAO Qinfeng, et al (964)

Diurnal activity rhythm and time budgets of the Dwarf Blue Sheep (*Pseudois schaeferi*) in Zhubalong Nature Reserve ... LIU Guoku, ZHOU Caiquan, YANG Zhisong, et al (972)

Comparison of leaf, height and seed functional traits of species in dry-hot valleys ... ZHENG Zhixing, SUN Zhenhua, ZHANG Zhiming, et al (982)

Dynamics of soil seed banks in the reversion process of desertification in the middle reaches of the Shiyang River ... MA Quanlin, ZHANG Dekui, LIU Youjun, et al (989)

Modelling the spatial distribution of forest carbon stocks with artificial neural network based on TM images and forest inventory data ... WANG Shaohua, ZHANG Maozhen, ZHAO Pingan, et al (998)

The GIS-based visual landscape evaluation in mountain area: a case study of Mount Nan-kun National Forest Park, Guangdong Province ... QIU Yishu, GAO Jun, ZHAN Qilin (1009)

A functional classification method for examining landscape pattern of urban wetland park: a case study on Xixi Wetland Park, China ... LI Yufeng, LIU Hongyu, ZHENG Nan, et al (1021)

Effects of AM fungi on the growth and drought resistance of *Seriphidium minchinense* under water stress ... HE Xueli, GAO Lu, ZHAO Lili (1029)

Modeled impact of irrigation on regional climate in India ... MAO Huiqin, YAN Xiaodong, XIONG Zhe, et al (1038)

The responses of photosynthetic energy use in wheat flag leaves to nitrogen application rates and light density under elevated atmospheric CO₂ concentration ... ZHANG Xucheng, YU Xianfeng, MA Yifan, et al (1046)

Enhanced drought and photooxidation tolerance of transgenic tobacco plants overexpressing pea catalase in chloroplasts ... WANG Fengde, YI Yanjun, WANG Haiqing, et al (1058)

Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress ... WANG Shugang, WANG Zhenlin, WANG Ping, et al (1064)

Predicting winter wheat growth based on integrating remote sensing and crop growth modeling techniques ... HUANG Yan, ZHU Yan, WANG Hang, et al (1073)

Effects of spraying ABA on bleeding intensity in neck-panicle node, spike traits and grain yields of two different panicle-type winter wheat ... CUI Zhiqing, YIN Yanping, TIAN Qizhuo, et al (1085)

Nitrogen and phosphorus cycling from rice-duck mutual ecosystem during late rice growth season ... ZHANG Fan, SUI Peng, CHEN Yuanquan, et al (1093)

Initial exploration of the ecological costs of food production in the hilly red soil region of Southern China ... LI Xiao, XIE Yongsheng, ZHANG Yinglong, et al (1101)

Optimization strategy and management decision-making in balancing forage and livestock in Gannan pastoral area ... LIANG Tiangang, FENG Qisheng, XIA Wentao, et al (1111)

Species-area relationship in travertine area in Huanglong valley, Sichuan ... HUANG Baoqiang, LUO Yibo, AN Dejun, et al (1124)

Influencing factors of fine root lifespans in two Chinese fir plantations in subtropical China ... LING Hua, YUAN Yiding, YANG Zhijie, et al (1130)

Age structure effects on stand biomass and carbon storage distribution of *Larix olgensis* plantation ... JU Wenzhen, WANG Xinjie, WANG Xinjie (1139)

Effects on controlling banana Fusarium wilt by bio-fertilizer, chitosan, hymexazol and their combinations ... ZHANG Zhihong, PENG Guixiang, LI Huaxing, et al (1149)

Seasonal dynamics of culturable bacterium numbers in freshwater bodies of different water quality in Beijing ... GAO Cheng, HUANG Manrong, TAO Shuang, et al (1157)

Review and Monograph

On the coordinated regulation of forest transpiration by hydraulic conductance and canopy stomatal conductance ... ZHAO Ping (1164)

Impacts of plant parasitism on structure and function of ecosystems ... LI Junmin, DONG Ming (1174)

Invasion mechanisms of *Solidago canadensis* L.: a review ... YANG Ruyi, ZAN Shuting, TANG Jianjun, et al (1185)

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 4 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 4 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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
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

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

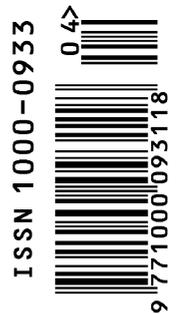
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

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 70.00 元