

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 20 期 Vol.31 No.20 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 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第20期 2011年10月 (半月刊)

## 目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性 ..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)  
天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征 ..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)  
基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析 ..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)  
三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护 ..... 刘吉平,吕宪国 (5894)  
江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 ..... 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)  
广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度 ..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)  
景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 ..... 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)  
基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划 ..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)  
苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素 ..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)  
放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式 ..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)  
放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子 ..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)  
近20年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响 ..... 蓝文陆 (5970)  
万仙山油松径向生长与气候因子的关系 ..... 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)  
50年来山东塔山植被与物种多样性的变化 ..... 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)  
热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性 ..... 王亚婧,范连连 (5992)  
遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响 ..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)  
遮荫对3年生东北铁线莲生长特性及品质的影响 ..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)  
云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应 ..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)  
杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 ..... 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)  
藏北高寒草原针茅属植物AM真菌的物种多样性 ..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)  
成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化 ..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)  
荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性 ..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)  
短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较 ..... 张继义,赵哈林 (6060)  
滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应 ..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)  
退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联 ..... 赵成章,任 琦 (6080)  
延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 ..... 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)  
臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE研究 ..... 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)  
甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 ..... 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)  
湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响 ..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)  
锌对两个品种茄子果实品质的效应 ..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)  
 $Cd^{2+}$ 胁迫对银芽柳PSⅡ叶绿素荧光光响应曲线的影响 ..... 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)  
紫茉莉对铅胁迫生理响应的FTIR研究 ..... 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

- 结缕草对重金属镉的生理响应 ..... 刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)  
两种大型真菌子实体对 Cd<sup>2+</sup> 的生物吸附特性 ..... 李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)  
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子 ..... 苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)  
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用 ..... 杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)  
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响 ..... 何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)  
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响 ..... 汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)  
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变 ..... 程琳,李锋,邓华锋 (6194)  
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例 ..... 张小飞,王如松,李正国,等 (6204)  
唐山市域 1993—2009 年热场变化 ..... 贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)  
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究 ..... 王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)  
长株潭城市群生态屏障研究 ..... 夏本安,王福生,侯方舟 (6231)  
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例 ..... 赵丹,李锋,王如松 (6242)  
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例 ..... 张勃,刘秀丽 (6251)

### 专论与综述

- 孤立湿地研究进展 ..... 田学智,刘吉平 (6261)  
甲藻的异养营养型 ..... 孙军,郭术津 (6270)  
生态工程领域微生物菌剂研究进展 ..... 文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)  
我国生态文明建设及其评估体系研究进展 ..... 白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)  
期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 440 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 49 \* 2011-10



**封面图说:**壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

冯剑丰, 王秀明, 孟伟庆, 李洪远, 朱琳. 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征. 生态学报, 2011, 31(20): 5875-5885.  
Feng J F, Wang X M, Meng W Q, Li H Y, Zhu L. Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 5875-5885.

## 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征

冯剑丰<sup>1,\*</sup>, 王秀明<sup>1</sup>, 孟伟庆<sup>2</sup>, 李洪远<sup>1</sup>, 朱琳<sup>1</sup>

(1. 教育部环境污染过程与基准重点实验室, 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071;  
2. 天津师范大学城市与环境科学学院, 天津 300387)

**摘要:**近年来, 天津海岸带区域经济发展迅速, 污染物排放量及污染海域面积持续增加, 特别是 2004 年以来, 天津港和临港工业区进行了大规模的海洋工程建设。由于具有迁移能力差、随季节波动不明显、生命周期相对较长等优点, 大型底栖生物作为重要的人类干扰的反应指标, 被广泛的应用于河口和海岸带生态系统对人类干扰的环境响应评价。为研究遭受人类干扰活动的天津近岸海域大型底栖生物群落结构的时空变化特征, 分别于 2004 年和 2007 年夏季对渤海湾天津近岸海域进行了大面积的底栖生物群落调查。运用聚类分析、多维标度(MDS)及相似性分析(ANOSIM)等多元统计方法, 分析了该区域底栖生物丰度、优势种、群落结构及生物多样性的时空变化特征。结果表明: 1) 2004 年夏季底栖生物调查获得底栖生物 29 种, 平均丰度为 402.8 个/m<sup>2</sup>, 优势种为日本鼓虾、脆壳理蛤; 2007 年夏季底栖生物调查获得底栖生物 36 种, 平均丰度为 120.27 个/m<sup>2</sup>, 优势种为脆壳理蛤、小胡桃蛤、绒毛细足蟹、涡虫 4 种。2) 2004 年, 调查区域底栖生物丰度空间分布呈现北低南高特征, 2007 年, 则呈现中间低南北高的空间分布特征。3) 2004 年到 2007 年, 位于大沽河口的 19 号站点底栖生物群落结构与其它站点存在显著性差异, 生物群落受冲淡水影响明显, 具有河口生物群落结构的独特性。2004 年调查区域中的塘沽断面的底栖生物群落结构与其它四个断面存在显著性差异, 而到 2007 年, 五个断面底栖生物群落结构整体趋向一致。4) 2004 年, 北部北塘、汉沽及南部岐口断面具有较高的丰富度、均匀度、多样性及较低的优势度指数, 而到 2007 年, 南部岐口、北部汉沽区域丰富度、均匀度和多样性指数均呈现下降趋势, 而优势度指数则有所上升。中部区域特别是塘沽断面在丰富度、均匀度、多样性指数上有所增加, 且越靠近中心区域增加程度越大。海岸工程、污染物排放、围垦养殖等人为干扰因素可能是造成天津近岸海域底栖生物丰度降低及其群落结构和多样性指数空间分布不均匀变化的主要原因。

**关键词:**渤海湾; 底栖生物; 群落结构; 人类活动

## Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer

FENG Jianfeng<sup>1,\*</sup>, WANG Xiuming<sup>1</sup>, MENG Weiqing<sup>2</sup>, LI Hongyuan<sup>1</sup>, ZHU Lin<sup>1</sup>

1 Key Laboratory of Pollution and Environmental Criteria, Ministry of Education/College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China

2 College of Urban and Environment Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

**Abstract:** With a rapid economic development in Tianjin coastal area recent years, the amount of land-based water pollutants and polluted area were increased consistently there. Especially since 2004, there were large scales coastal construction projects around Tianjin Port and Tianjin Lingang Industrial Zone. Due to the advantages of less migration capacity, slowly seasonal fluctuations and relatively long life period under the external environmental stressors such as human interferences, the large benthic organisms are widely used in evaluating the response of estuarine and coastal ecosystem variation as an important reaction indicator. To identify the main temporal and spatial characteristics of

基金项目:国家自然科学基金(41006065);天津市自然科学基金重点项目(11JCZDJC24500);中央高校基本科研业务费专项资金资助

收稿日期:2011-06-19; 修订日期:2011-07-19

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fengjf@nankai.edu.cn

macrobenthic communities in Tianjin coastal region, which was affected by different anthropogenic activities, the macrobenthic community sample collections were conducted twice in the west Bohai Bay of Tianjin in August 2004 and in August 2007 respectively. Multivariate analysis methods of cluster analysis, multi-dimensional scaling (MDS) and analysis of similarity (ANOSIM) were utilized to analyze the characteristics of macrobenthic communities in Tianjin coastal region. The results showed that: 1) 29 macrobenthic species were collected and the average abundance was 402.8 ind/m<sup>2</sup> in August 2004, and the dominant species were *Alpheus japonicus* and *Thera fragilis*, 36 macrobenthic species were collected and the average abundance was 120.27 ind/m<sup>2</sup>, and the dominant species are *Thera fragilis*, *Nucula paulula*, *Raphidopus ciliatus* and *Tubellaria* in August 2007. The average abundance of macrobenthic decreased significantly from 2004 to 2007; 2) In 2004, the spatial distribution pattern of macrobenthic abundance was lower in north and higher in south, while in 2007, the spatial distribution characteristics changed to the pattern of lower in middle and higher in north and south; 3) From 2004 to 2007, there was a significant difference of macrobenthic community in 19# sample station which located near the Dagou River mouth, and affected by freshwater discharge to compare other stations. In 2004, there were significant differences of macrobenthic communities between Tanggu sections from other four sections. But this difference disappeared in 2007 and the community structure turned to be identical; 4) In 2004, there were higher richness, evenness and diversity indices and lower dominance index in Beitan, Hangu and Qikou sections. In 2007, the richness, evenness and diversity indices in southern Qikou and northern Hangu area, which showed a decline trend, while the dominance index increased. But in the central survey region, especially in Tanggu section, the richness, evenness and diversity indices had increased rapidly. Anthropogenic activities, such as coastal engineering, pollutant discharging, and pond farming might be the dominant reasons which caused the drop of macrobenthic abundance and non-uniform spatial variation distribution characteristics of macrobenthic community structure and diversity indices in Tianjin coastal region.

**Key Words:** Bohai Bay; macrobenthic; communities structure; anthropogenic activities

大型底栖生物能够迅速的对来自人类和自然的压力做出反应<sup>[1-2]</sup>。由于迁移能力差、随季节波动不明显、生命周期相对较长、在沉积物和水体之间的营养和物质循环中有重要作用等多种优点<sup>[3]</sup>,近年来,大型底栖生物作为反应人类干扰的重要指标,已经被广泛的应用于河口和海岸带生态系统环境评价<sup>[4-12]</sup>。国内学者对长江口、珠江口、泉州湾、乐清湾、渤海湾等近岸海域的底栖生物群落结构进行调查与研究<sup>[3, 13-20]</sup>。深入开展大型底栖动物的生态学研究,对于了解海洋底栖生态系统的结构和功能,合理利用海洋生物资源具有重要的意义。

天津海岸带位于华北平原东北部,地处渤海西岸,海河水系与蓟运河水系尾闾,是海陆交互作用强烈地带,为典型的粉砂淤泥质平原海岸。近年来,该区域经济发展极其迅速,污染物排放量持续增加,海域污染状况有加重的趋势,严重污染的海域面积有所增加<sup>[21]</sup>。特别是2004年以来,天津港和临港工业区进行了大规模的海洋工程活动,有可能对近岸海洋生态系统造成强烈扰动。目前对于渤海湾近岸海域底栖生物群落的分析多侧重于现状的分析<sup>[22-24]</sup>,或者与历史调查的对比,但往往由于调查站位或调查季节的不同,其可比性较差<sup>[25]</sup>。为研究遭受强烈人为干扰的天津近岸海域大型底栖生物群落结构的时空变化特征,分别于2004年夏季和2007年夏季对天津近岸海域大型底栖生物群落进行了调查分析。试图通过研究渤海湾近岸海域底栖生物群落的变化,探明该区域生态环境质量的变化规律,从而提出科学的资源开发利用方式,对于该地区的海洋经济与生态环境的长期稳定协调发展具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

研究区位于渤海湾西岸天津段,北起涧河,南至歧口河,地理位置为38°37'—39°07'N,117°39'—118°02'E。总地势自北、西、南向海域倾斜,坡降0.1%—0.6‰。海岸线全长153.33km,沿岸汇集了独流减河等9个

河口及渠口,有海河、永定新河等12条河流流入渤海。渤海湾天津段海域是联系东北、西北、及华东地区的咽喉要道和枢纽,天津是我国北方的海运和工业中心,天津港是我国北方第一大港。

## 1.2 采样方法

分别于2004年夏季和2007年夏季对渤海湾近岸海域进行了底栖生物调查,采样站位包括岐口、大港、塘沽、北塘、汉沽5个采样断面,每个断面6个站位,共30个站位(图1)。采样用0.05m的箱式采泥器,重复取样5次(以成功为准),合为一个样品,用网孔0.5mm套筛选标本。所获生物样品用5%中性甲醛溶液固定,室内进行种类鉴定、个体计数,并换算成单位面积的丰度。具体操作按《海洋生态调查技术调查规程》<sup>[26]</sup>进行。

## 1.3 数据处理方法

### (1)优势种群确定

根据优势度计算公式<sup>[27]</sup>,计算5次调查各种类的优势度: $Y=\frac{n_i}{N}$ ,式中, $Y$ 为优势度, $N$ 为所有种类总个体数, $n_i$ 为第*i*种的个体数, $f_i$ 为该种在所有站位中出现的频率。

(2)多元变量统计分析方法是目前分析群落结构变化较灵敏的方法,统计软件PRIMER正是处理生态和环境多元数据的重要分析工具<sup>[28]</sup>。目前国内已经有多名学者用于底栖生物群落结构分析<sup>[29-31]</sup>。

本文利用PREMIER软件进行底栖生物群落结构多变量统计分析,为平衡优势种和稀有种在群落中的作用,对原始生物丰度矩阵进行 $\log(x+1)$ 变换,计算站位间的Bray-Curtis相似性系数,用聚类分析和多维排序尺度分析(Multi-dimensional Scaling, MDS)相结合的方法将底栖生物群落分成四个聚类组。用SIMPER分析计算组间的相似性系数,以表示各聚类组内的优势种群,组间的不相似程度及造成不相似性的物种。同时,对五个采样断面,采用ANOSIM相似性分析,检验各断面的底栖生物群落是否存在显著差异。

(3)群落生物多样性采用Margalef丰富度指数(*d*)、Pielow均匀度指数(*J'*)、香农-威纳信息指数(Shannon-Wiener)(*H'*)和simpson优势度指数(*λ*)。计算公式分别为:

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

$$\text{Pielow均匀度指数} \quad J' = H'/\log_2 S$$

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

$$\text{Simpson优势度指数} \quad \lambda = \sum_{i=1}^s P_i^2$$

式中,*S*为站位中样品的种类数,*N*为样品的总丰度,*P<sub>i</sub>*为站位第*i*种的丰度与各物种总丰度的比值。

(4)利用ArcGIS工具中的反距离加权插值法进行空间插值,用自然断点分级法进行重分类,将物种丰度划分为5级,多样性指数变化值分为6级,得到物种丰度和多样性指数变化的平面分布图。

## 2 结果

### 2.1 底栖生物种类及优势种

2004年8月调查中共出现的底栖生物种类有29种,其中软体类14种,甲壳类8种,多毛类1种,棘皮类2种,其它类有扁形动物涡虫、螠虫动物短吻铲莱螠、纽形动物纽虫、腕足动物海豆芽(*Lingulida* sp.)4种。

2007年8月检测到底栖动物36种,其中软体类13种,甲壳类11种,多毛类4种,棘皮类3种,其它类有脊索动物海牛(*Trichechu* sp.)、小头栉孔虾虎鱼,螠虫动物短吻铲莱螠虫,扁形动物涡虫,纽形动物纽虫5种。

表1列出了优势度0.2%以上的物种。以优势度 $Y \geq 2\%$ 界定优势种,2004年的优势种为日本鼓虾、脆壳

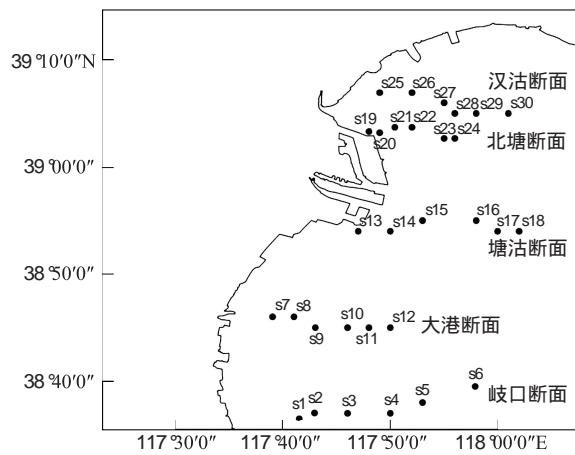


图1 渤海湾近岸海域大型底栖动物调查站位图

Fig. 1 Sampling stations of macrobenthic in Bohai coastal region

理蛤;2007年优势种有脆壳理蛤、小胡桃蛤、绒毛细足蟹和涡虫4种。2004年优势度大于0.5%的物种脆壳理蛤、沙蚕、涡虫,在2007年都保持了较高的优势度,而日本鼓虾的出现频率和丰度都极低,荷兰蛤则没有出现。2004年仅出现一次且数量很少的薄壳镜蛤,在2007年则有很高的优势度,2004年没有出现的小月阿布蛤在2007年优势度达到0.96%。

优势度表明群落内优势种集中的程度,可以表征物种在群落中的地位与作用。整体分析,2004年优势度较高的物种少于2007年,表示2004年优势物种主导作用不明显,主要原因是2004年日本鼓虾的丰度值极高,削弱了其它物种在数量上的优势,使得优势种很少。实际上,在去除日本鼓虾的丰度极值后,2004年脆壳理蛤、沙蚕、涡虫、荷兰蛤、纽虫的优势度都高于2%,优势度大于0.1%的物种也达到13种。

表1 优势度较高物种的优势度、出现频次和丰度

Table 1 The dominance, frequency of appearance and abundance of species with higher dominance

物种 Species	2004			2007			
	优势度 Dominance /%	丰度 Abundance /(个/m <sup>2</sup> )	频次 Frequency	物种 Species	优势度 Dominance /%	丰度 Abundance /(个/m <sup>2</sup> )	频次 Frequency
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	13.16	9540	5	脆壳理蛤 <i>Thera fragilis</i>	23.52	1340	19
脆壳理蛤 <i>Thera fragilis</i>	4.30	820	19	小胡桃蛤 <i>Nucula paulula</i>	11.25	580	21
沙蚕 <i>Nereis succinea</i>	1.30	248	19	绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliatus</i>	6.50	352	20
涡虫 <i>Dugesia gonocephala</i>	0.95	216	16	涡虫 <i>Dugesia gonocephala</i>	3.65	208	19
荷兰蛤 <i>Venerupis</i>	0.62	320	7	沙蚕 <i>Nereis succinea</i>	1.33	96	15
纽虫 <i>Nemertinea</i>	0.44	160	10	薄壳镜蛤 <i>Dosinia corrugata</i>	1.29	116	12
短吻铲菱蟹 <i>Listriolobus brevirostris</i>	0.32	116	10	拟钩虾 <i>Gammaopsis</i> sp.	1.15	208	6
小胡桃蛤 <i>Nucula paulula</i>	0.24	88	10	小月阿布蛤 <i>Abrina lunella</i>	0.96	208	5
棘刺锚参 <i>Protankyra bidenata</i>	0.23	84	10	纽虫 <i>Nemertinea</i>	0.71	64	12
四角蛤蜊 <i>Mactra quadrangularis</i>	0.23	120	7	棘刺锚参 <i>Protankyra bidenata</i>	0.49	48	11
绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliatus</i>	0.22	80	10	阿布蛤 <i>Abrina</i> sp.	0.24	44	6
				巢沙蚕 <i>Diopatra neapolitana</i>	0.20	36	6

## 2.2 底栖生物丰度的空间分布

根据各站位点丰度值,运用ArcGIS中的空间插值功能,得到2004年夏季和2007年夏季底栖生物丰度空间分布如图2所示。

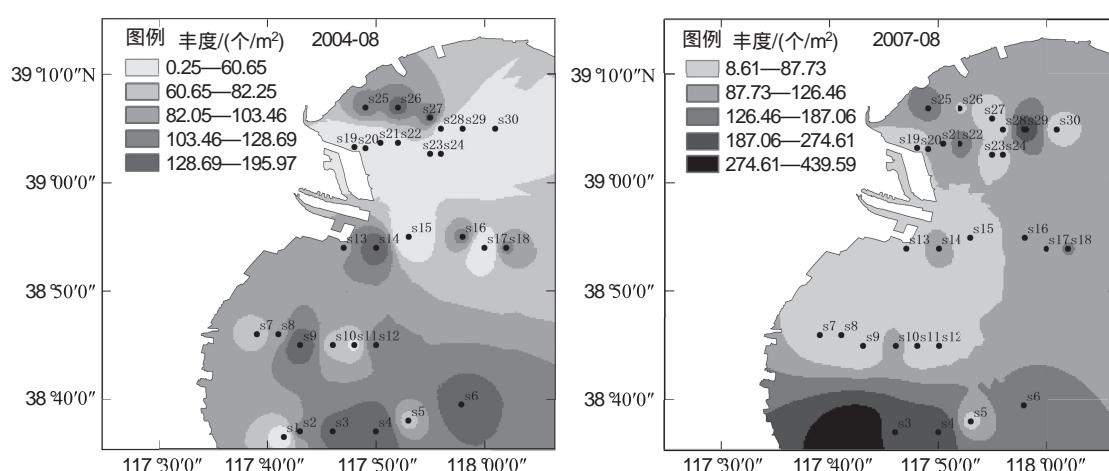


图2 2004年8月和2007年8月底栖生物丰度分布图

Fig. 2 Distribution of macrobenthos abundance in August 2004 and August 2007

2004年8月各站位平均底栖生物丰度为402.8个/m<sup>2</sup>。整体上生物丰度分布呈现北底南高的特征。丰度较高的站位有s4、s9、s14、s26。丰度最低的站位集中在北塘断面的大部分站位和汉沽断面离岸较远的站位,底栖生物丰度都低于50个/m<sup>2</sup>。

2007年8月各站位底栖生物平均丰度为120.27个/m<sup>2</sup>,较2004年有较大的下降。整体上生物丰度分布呈现南北高中间低的特征。生物丰度较高的站位集中在受人类影响较小的岐口断面的站位。丰度较低的站位集中在大港断面和塘沽断面的部分站位。

### 2.3 群落结构聚类分析和 MDS 排序分析

#### 2.3.1 2004年群落结构分析

##### (1) 聚类和 MDS 分析

聚类分析和 MDS 分析都将30个站位点分为4个聚类组(图3),聚类组A为s13、s14、s15、s16、s17、s18号站位。聚类组B仅有s19、s20和s23组成聚类组C,剩余站位组成聚类组D。

聚类组A全部由塘沽断面的站位组成,其优势种群为四角蛤蜊—荷兰蛤—日本鼓虾—短吻铲菱蟹—纵肋织纹螺(*Nassarius variciferus*)。聚类组B仅有s19站位,只存在少量的短吻铲菱蟹、纽虫、三强蟹(*Tritodynamia* sp.),物种少,丰度低。聚类组D为s20、s23站位,同样物种少,丰度低。荷兰蛤、小胡桃蛤是共有的优势种。聚类组D优势种群为脆壳理蛤—沙蚕—涡虫—纽虫—棘刺锚参,其中前三种造成了组内75.56%的相似性。

根据MDS图,并与原始数据对照可以看出,2004年8月,s19、s7、s21站位是与其它站位差异较大。其中s19、s7、s21分别由于存在稀有种三强蟹,彩虹明樱蛤(*Moerella iridescent*)、圆筒原盒螺(*Eocyllichna braunsi*),沟纹拟盲蟹(*Typhlocarcinops canaliculata*)而孤立存在。

##### (2) SIMPER 分析

由SIMPER分析进一步了解群落间的差异性大小及形成差异的原因。结果表示,聚类组B、C之间差异最大,不相似性达到100,从原始数据中可以看出,两组的物种完全不同。聚类组AD之间的不相似性为92.64,日本鼓虾、荷兰蛤、脆壳理蛤、四角蛤蜊、涡虫、沙蚕造成约60%的差异。

##### (3) ANOSIM 分析

ANOSIM分析的结果表示,不同采样断面间的群落结构存在显著差异。造成差异的主要原因是岐口和塘沽( $R=0.98$ )、大港和塘沽( $R=0.96$ )、汉沽和塘沽( $R=0.97$ )、北塘和塘沽( $R=0.535$ ),可知,塘沽区的底栖生物群落与其他采样断面有很大差异,达到了0.99以上的显著水平,而岐口、大港、汉沽、北塘4个断面两两之间的差异性很小。

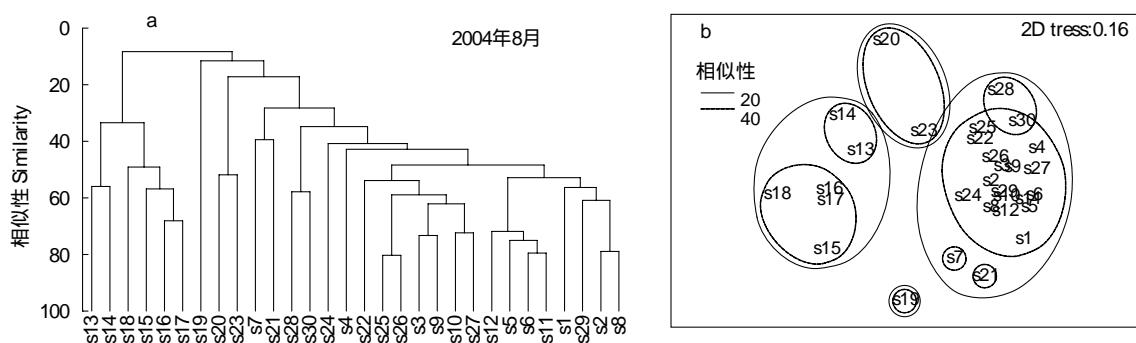


图3 2004年底栖生物调查站位的聚类(a)和 MDS 分析(b)

Fig. 3 Cluster analysis(a) and MDS(b) analysis on macrobenthos of 2004

#### 2.3.2 2007年群落结构分析

##### (1) 聚类和 MDS 分析

在 30% 水平上,聚类分析将所有站位分为 5 组(图 4),聚类组 A 为 s19 站位,B 为 s24 站位,聚类组 C 为 s25、s26、s20 号站位,D 为 s7、s11、s15 号站位,E 为剩余站位。

聚类组 A 仅有沙蚕、短吻铲菱蟹, 丰度都极小。聚类组 B 即 24 号站位, 有丰度较高的锯额瓷蟹 (*Porecellana spinulifrons*)、近方蟹 (*Hemigrapsus* sp.)、光滑河篮蛤 (*Potamocorbula laevis*) 等少见种, 另外还存在少数的沙蚕、绒毛细足蟹、倍棘蛇尾 (*Amphioplus* sp.)。聚类组 C 组内平均相似性 68.48, 优势种群为小月阿布蛤—绒毛细足蟹—光滑河篮蛤—棘刺锚参。聚类组 D 优势种群为脆壳理蛤—小头栉孔虾虎鱼—涡虫—巢沙蚕, 聚类组 E 优势种群为小胡桃蛤—脆壳理蛤—涡虫—绒毛细足蟹—沙蚕—纽虫, 其中前 4 种造成了组内 75% 以上的相似性。

2007年8月,除s19、s24外,s26、s25、s15、s11与其它站位差异也较大。s25、s26号站位分别由于存在极少量的稀有种薄菱蛏(*Siliqua pulchella*)、三强蟹而特殊。s15、s11站位则由于存在出现少见种小头栉孔虾虎鱼而归为同一组,并且不同于其它站位。除此之外,s18、s29、s22、s6等都由于存在稀有种而处于MDS图边缘。总之,2007年8月的种群聚集性不明显,主要是大部分站位均有少量稀有种出现,而且各不相同造成的。

## (2) SIMPER 分析

SIMPER 分析表示, A、C 组间不相似性 100, 差异性最大。小月阿布蛤、绒毛细足蟹、光滑河篮蛤、棘刺锚参、沙蚕, 造成了约 75% 的不相似性。其次 A、D 组间不相似性系数 95.68, 主要贡献者是脆壳理蛤、沙蚕、涡虫、小头栉孔虾虎鱼、短吻铲菱螺旋、薄壳镜蛤。

### (3) ANOSIM 分析

ANOSIM 分析结果表示,平均  $R$  值为 0.221,不同断面间不存在显著差异。成对检验中,只有岐口和大港断面  $R$  值达到 0.476,存在显著差异。

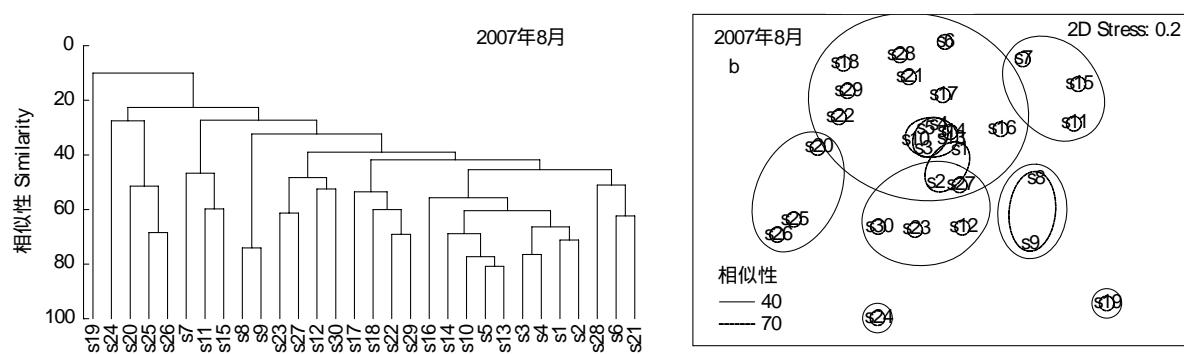


图 4 2007 年底栖生物调查站位的聚类(a)和 MDS 分析(b)

**Fig.4** Cluster analysis (a) and MDS analysis (b) on macrobenthos of 2007

## 2.4 生物多样性指数分析

#### 2.4.1 Margalef 丰富度指数

2004年8月,丰富度整体波动较大。丰富度指数较高的主要是汉沽及北塘断面离岸较远的海域,最低的主要是塘沽断面的大部分站位和北塘断面离岸最近的区域。2007年8月,整体波动相对于2004年较小。与2004年相反,2007年丰富度较高的站位集中在北塘和塘沽断面离岸较远的站位。丰富度指数最低的站位分散分布在s19、s15、s11、s9附近。

为了解群落多样性指数的变化情况,以2007年与2004年丰富度指数之差,进行空间插值,得到群落丰富度指数变化的空间分布如图5所示。

丰富度指数减少的区域主要位于汉沽及大港和岐口断面部分站点,丰富度增加的区域则集中在塘沽、北塘断面的大部分区域及大港断面近岸、岐口断面远岸的区域。

### 2.4.2 Pielow 均匀度指数

均匀度指数表示了底栖生物各种类分布的均匀程度。2004年8月,除塘沽断面一些站位均匀度指数明

显较小外,其它站位的  $J'$  值均位于 0.6—1.0 之间。均匀度指数最高的是北塘断面近岸的 s19、s20, 均匀度指数最低的站位为 s17、s15、s14、s9 附近的区域。2007 年 8 月,除岐口断面的部分站位均匀度指数较低外,大部分站位的  $J'$  值在 0.7—1.0 之间。s19、s8、s7、s9 等 10 个站位  $J'$  值都在 0.9 以上,均匀度特别高的站位不明显。

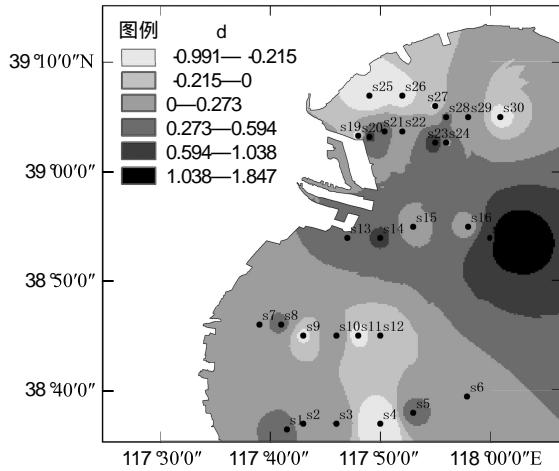


图 5 2004—2007 年底栖生物丰富度指数( $d$ )变化的平面分布图

Fig. 5 Distribution of the difference of macrobenthos richness index ( $d$ ) from 2004 to 2007

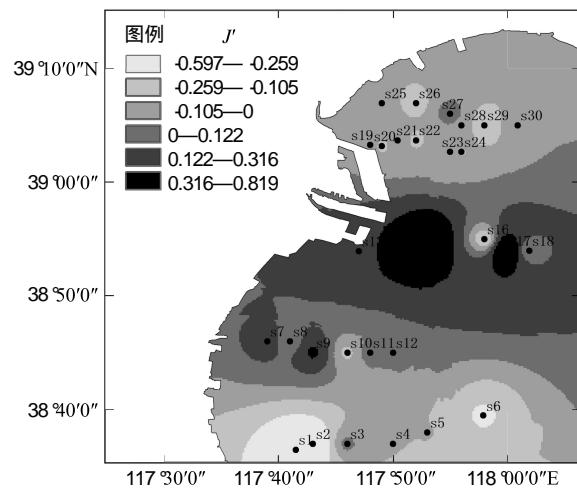


图 6 2004—2007 年底栖生物均匀度指数( $J'$ )变化的平面分布图

Fig. 6 Distribution of the difference of macrobenthos evenness index ( $J'$ ) from 2004 to 2007

均匀度指数减少的区域集中在北部汉沽和北塘断面以及南部岐口断面,而塘沽断面及大港断面的大部分站点的均匀度则有所提高。

#### 2.4.3 Shannon-Wiener 信息指数

香农-威纳指数在综合考虑种数和各种间个体分配的均匀性的基础上,反映生物多样性水平。2004 年 8 月,塘沽断面各站位香农-威纳信息指数普遍较低,汉沽断面整体较高。2007 年 8 月,各站位  $H'$  值波动较 2004 年大,从南部的岐口断面到北部的汉沽断面,呈现较小的波动上升趋势。 $H'$  值明显较低的站位是 s1、s2、s6、s19, 明显较高的是 s7、s18、s23、s27, 其分布没有明显的区域性。

香农-威纳指数也呈现南北降低,中间增加的特征。北部汉沽断面以及南部岐口和大港断面香农-威纳指数有所降低,而塘沽断面及北塘断面的部分站点的香农-威纳指数则有所提高。

#### 2.4.4 Simpson 优势度指数

生态优势度指数反映了各物种种类数量的变化情况,生态优势度指数越大,说明群落内物种数量分布越不均匀,优势种的地位越突出。2004 年 8 月,由于 s15 和 s17 站位日本鼓虾丰度极高,其优势度比其它站位明显较高,其次优势度较高的站位是 s14、s18、s20、s6、s9,优势度低的站位不明显。2007 年 8 月,站位  $\lambda$  值明显较高的区域集中在南部岐口断面,同时该区域整体丰度较高,均匀度较低,说明岐口断面的多数站位种数少,各种数量多,优势种数量很大。优势度较低的站位不明显。

同香农-威纳指数和均匀度指数变化特征相反,优势度指数呈现南北升高,中部降低的特征。北部汉沽断面以及南部岐口和大港断面优势度指数有所升高,而塘沽断面及北塘断面的部分站点的优势度指数有所下降。

### 3 讨论

#### 3.1 底栖生物群落结构的变化特征

通过对 2004 年和 2007 年夏季天津近岸海域底栖生物群落结构的调查分析表明,s19 站位由于物种极少,

且种类不同于其他站位,单独分为一组,物种分别为短吻铲菱螠—纽虫—三强蟹,沙蚕—短吻铲菱螠。原因在于该站位位于北塘河口,因此生物群落受冲淡水影响明显,具有河口生物群落结构的独特性。2004年塘沽断面的s13—18站点单独分为一组,优势种群为四角蛤蜊—荷兰蛤—日本鼓虾—短吻铲菱螠—纵肋织纹螺。2007年s13—18站位则没有呈现特别明显的聚集性,除s15外,其它站位均属最大的聚类组E,优势种群为小胡桃蛤—脆壳理蛤—涡虫,说明该断面底栖生物在物种变化上,趋于与局部大环境相似。

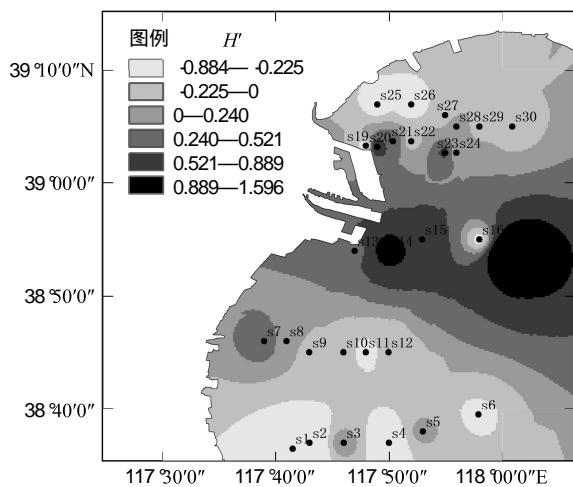


图7 2004—2007年底栖生物多样性指数( $H'$ )变化的平面分布图

Fig. 7 Distribution of the difference of macrobenthos diversity index ( $H'$ ) from 2004 to 2007

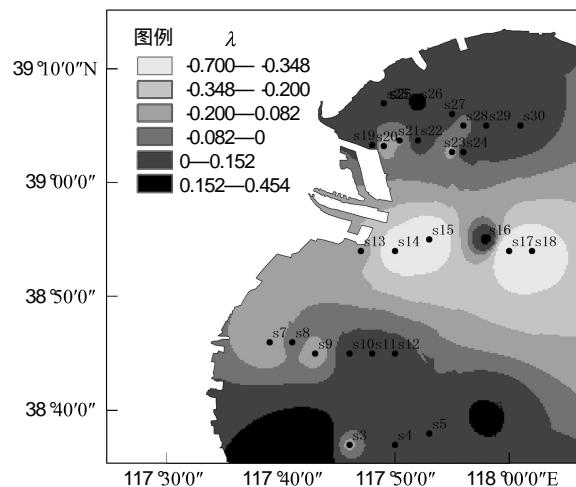


图8 2004—2007年底栖生物优势度指数( $\lambda$ )变化的平面分布图

Fig. 8 Distribution of the difference of macrobenthos dominance index ( $\lambda$ ) from 2004 to 2007

2004年到2007年,岐口断面、汉沽断面离岸远站位的底栖生物没有受到太大的扰动,优势种基本没有变化。塘沽断面则由一类特殊的群落:四角蛤蜊—荷兰蛤—日本鼓虾—短吻铲菱螠—纵肋织纹螺,变为与整体调查区域的群落一致,北塘断面的s21、s22站位也有类似变化,这可能是由于该地区原来存在的剧烈的围海造地等人为干扰强度有所减弱或消除,致使生物群落结构逐渐恢复。

与历史调查数据相比(表2),孙道元<sup>[30]</sup>等的研究表示,1982年7月渤海湾底栖动物主要物种为不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)、日本鼓虾、豆形胡桃蛤(*Nucula faba*)、绒毛细足蟹、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)等<sup>[22]</sup>。张培玉<sup>[3]</sup>等于2003年7月进行渤海湾底栖生物调查,按相对重要性值从大到小的顺序,优势种依次为:竹蛏(*Solen strictus*)、脆壳理蛤、异蚓虫(*Heteromastus filliformis*)、不倒翁虫、短吻铲菱螠。由此可以看出,生物种类变化不大,除1982年的优势种葛氏长臂虾在后续研究中没有出现外,其它物种仍保持一定的丰度和频次,绒毛细足蟹、日本鼓虾仍是当地的优势种。

渤海湾底栖生物的丰度从2003年到2008年,整体上呈下降趋势。在底栖生物的生物量方面,房恩军<sup>[23]</sup>等的研究表示,2005年8月渤海湾30个站位底栖生物生物量的平均值为16.45g/m<sup>2</sup>,相比于1959年7月的全国海洋综合调查,生物量有一定的提高。张培玉<sup>[3]</sup>、王瑜<sup>[25]</sup>等的研究也证实了近10a来渤海湾底栖生物平均生物量有所增加。

与渤海其它海湾相比,1959年7月,渤海湾底栖生物平均生物量稍高于辽东湾、莱州湾,1982年7月渤海湾底栖生物平均生物量与胶州湾相当,达到了辽东湾的两倍多。在1998年9月,渤海中南部海域底栖生物平均生物量继续上升到辽东湾的7倍、莱州湾的4倍之多,可能表明了渤海湾环境质量状况较优越于莱州湾、辽东湾,且近年来其优越性愈加明显。

### 3.2 底栖生物群落多样性指数的变化特征

从多样性指数的分析结果可以看出,2004年到2007年,丰富度指数增加的区域是塘沽、北塘断面的大部

分区域以及大港断面近岸、岐口断面远岸的区域。与群落结构变化相同,塘沽断面整体丰富度增加可能反映了人为干扰的减少,如2007年临港工业区填海一期工程完成,填海工程对水体泥沙、悬浮物的影响暂时有所减小,因此附近海域特别是远岸的海域生态环境恢复到之前的状态,底栖生物在丰富度上明显增加。另外,该区域地处天津港多条航道的汇集处,近年来天津港航道疏浚工程也对该地区的沉积物环境有很大影响。其它丰富度指数增加在0.37以上的站位还有s1、s5、s20、s21、s23,其分布不具有连续性,可能是局部环境变化如污水排放、人工养殖引起的。丰富度减小的区域集中在南部岐口、大港断面的中间部分和北部汉沽断面的近岸区域。汉沽断面的25、26站位的丰富度指数减小幅度最大,原因可能是自2006年天津航母主题公园建成以来,沿岸的人类活动增加,致使底栖生物丰富度减小。

表2 渤海湾底栖生物丰度和生物量的其它研究和其他海域的比较

Table 2 Comparison of abundance and biomass in Bohai Bay with other published data and in other areas

调查海域 Sampling region	调查时间 Sampling time	采泥器类型 Sediment sampler type	网筛孔径 Sieve aperture /mm	站位数 Number of stations	平均丰度 Abundance /(个/m <sup>2</sup> )	平均生物量 Biomass /(g/m <sup>2</sup> )	资料来源 References
渤海湾	1959-07	0.1m <sup>2</sup> HNM	1	10	—	12.83	文献[34]
渤海湾	1982-07	0.05m <sup>2</sup> HNM	1	20	157	26.5	文献[32]
渤海湾东部	1985-05—6	0.1m <sup>2</sup> HNM	0.5	2	101	14.47	文献[33]
渤海中南部	1998-09	0.1m <sup>2</sup> 箱式	0.5	22	1267	73.87	文献[22]
渤海湾近岸海域	2003-07	0.05m <sup>2</sup> 箱式	0.5	13	375	49.79	文献[3]
渤海湾近岸海域	2004-08	0.05m <sup>2</sup> 箱式	0.5	30	402.8	—	本文
渤海湾近岸海域	2005-08	0.05m <sup>2</sup> 箱式	0.5	30	70	16.45	文献[23]
渤海湾近岸海域	2007-08	0.05m <sup>2</sup> 箱式	0.5	30	120.27	—	本文
渤海湾近岸海域	2008-04	0.1m <sup>2</sup> 箱式	1	21	228.81	36.03	文献[25]
莱州湾	1959-07	0.1m <sup>2</sup> HNM	1	8	—	10.29	文献[34]
莱州湾	1982-07	0.1m <sup>2</sup> HNM	1	11	822	13.7	文献[32]
莱州湾	1985-05—6	0.1m <sup>2</sup> HNM	0.5	6	1542	108.3	文献[33]
莱州湾	1998-09	0.1m <sup>2</sup> 箱式	0.5	—	1851	10.90	文献[3]
辽东湾	1959-07	0.1m <sup>2</sup> HNM	1	12	—	10.46	文献[34]
辽东湾	1982-07	0.05m <sup>2</sup> HNM	1	22	276	27.9	文献[32]
辽东湾	1998-09	0.1m <sup>2</sup> 箱式	0.5	1	5480	38.29	文献[22]

均匀度指数和香农-威纳多样性指数增加的区域集中在研究区域的中部,即塘沽和大港断面海域,且增加程度由中央向四周逐渐减小。同群落结构、丰富度变化的原因相同,也是由于该地区人类干扰的减小或自然环境好转,底栖生物趋向于恢复到物种更丰富、均匀性更高的原有状态。均匀度指数和香农-威纳多样性指数明显减小的是岐口断面、大港断面远岸、汉沽断面近岸海域。其中,岐口断面近岸区域减少最为显著,表明当地人为干扰强度增加。同均匀度指数和香农威纳信息指数的变化相反,塘沽断面及大港、北塘断面部分区域优势度指数减小,表明2007年这些区域优势种群的主导地位有所降低,群落内物种分布趋向均匀。岐口和汉沽地区的优势度指数增加,意味着优势种占据更主导的地位。

总的来说,从2004年到2007年多样性指数空间分布变化的分析可以看出,天津近岸海域丰富度指数、均匀度指数和香农-威纳指数整体上变化具有一致性,均呈现南北降低、中部增加的特点,而优势度指数则相反,呈现出南北增加、中部降低的变化特征。人类干扰因素的不均匀分布可能是造成这种空间分布不均匀变化特征的主要原因。

#### 4 结论

(1)2004年8月和2007年8月底栖生物调查分别获得底栖生物29、36种,优势种群从日本鼓虾、脆壳理蛤转变为脆壳理蛤、小胡桃蛤、绒毛细足蟹、涡虫。

(2)2004年8月和2007年8月各站位平均底栖生物丰度分别为402.8、120.27个/m<sup>2</sup>。空间分布上,

2004年的底栖生物丰度表现出南高北低的趋势,岐口断面近岸海域明显高于其它区域。2007年,岐口断面底栖生物丰度最高,并以此为中心向四周逐渐降低,汉沽断面及北塘断面远岸海域底栖生物丰度最低。

(3)群落结构的聚类分析和MDS分析表明:2004年到2007年,位于大沽河口的19号站点底栖生物群落结构与其它站点存在显著性差异。2004年调查区域中的塘沽断面的底栖生物群落结构与其它4个断面存在显著性差异,而到2007年,5个断面底栖生物群落结构整体趋向一致。

(4)多样性指数分析表明:2004年,北部北塘、汉沽及南部岐口断面具有较高的丰富度、均匀度、多样性,而到2007年,南部岐口、北部汉沽区域丰富度、均匀度和多样性指数均呈现下降趋势,而优势度指数则有所上升。中部区域特别是塘沽断面在丰富度、均匀度、多样性指数上有所增加,且越靠近中心区域增加程度越大。

#### References:

- [1] Pearson T H, Rosenberg R. Macrofaunal succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology*, 1978, 16: 229-311.
- [2] Bustos-Báez S, Frid C. Using indicator species to assess the state of macrobenthic communities. *Hydrobiologia*, 2003, 496(1/3): 299-309.
- [3] Zhang P Y. Studies on Ecology of Zoobenthos and Environmental Quality Assessment in Coastal Waters of Bohai Bay. Qingdao: Ocean University of China, 2005.
- [4] Carvalho S, Pereira P, Pereira F, de Pablo H, Vale C, Gaspar M B. Factors structuring temporal and spatial dynamics of macrobenthic communities in a eutrophic coastal lagoon (Óbidos lagoon, Portugal). *Marine Environmental Research*, 2011, 71(2): 97-110.
- [5] Li B Q, Li X Z, Wang H F, Wang J B, Han Q X, Dong C, Ma L, Zhang B L. The relationship between soft-bottom macrobenthic communities and environmental variables off Ningjin, eastern Shandong Peninsula. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 29(6): 73-82.
- [6] Tian Y Q, Wang J J, Duff J A, Howes B L, Evgenidou A. Spatial patterns of macrobenthic communities in shallow-water tidal embayments and their association with environmental factors. *Environmental Management*, 2009, 44(1): 119-135.
- [7] Nordhaus I, Hadipudjana F A, Janssen R, Pamungkas J. Spatio-temporal variation of macrobenthic communities in the mangrove-fringed Segara Anakan lagoon, Indonesia, affected by anthropogenic activities. *Regional Environmental Change*, 2009, 9(4): 291-313.
- [8] Bilkovic D M, Roggero M, Hershner C H, Havens K H. Influence of land use on macrobenthic communities in nearshore estuarine habitats. *Estuaries and Coasts*, 2006, 29(6): 1185-1195.
- [9] Valdivia N, Heidemann A, Thiel M, Molis M, Wahl M. Effects of disturbance on the diversity of hard-bottom macrobenthic communities on the coast of Chile. *Marine Ecology-Progress Series*, 2005, 299: 45-54.
- [10] Peng X, Xie Q L, Chen S B, Huang X L, Qiu J B, Zhong W, Guan W C. The community distribution pattern of intertidal macrozoobenthos and the responses to human activities in Yueqing Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 954-963.
- [11] 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.
- [12] Li H M, Men H T. Analysis of environmental factors impacting spatio-temporal variation of benthic community structure in Shenzhen Bay. *Marine Environmental Science*, 2004, 23(1): 37-40.
- [13] Wang X G, Wang C S, Zhang D S, Hong L S, Yang D. Abundance and biomass of meiofauna in the Changjiang Estuary and its adjacent continental shelf waters in spring, 2007. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(17): 4717-4727.
- [14] Zhang J H, Gao Y, Fang H D, Xu Z B. Ecological characteristics of macrobenthic communities in Pearl River Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2989-2999.
- [15] Du Y F, Xu K D, Lei Y L, Dai R H. Annual quantitative distribution of meiofauna in relation to sediment environment in Qingdao Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(2): 431-440.
- [16] Jia H B, Hu H Y, Tang J L, Huang B, Mao H Y, Wang J Y, Wei N. The macrobenthos ecology of the southern Yellow Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2010, 41(6): 842-849.
- [17] Li R G, Wang J J, Zheng C X, Zheng F W, Huang X L, Lin J H, Jiang J X. The ecology of macrobenthos community in Quanzhou Bay, Fujian Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3562-3571.
- [18] Lang H, Zheng C R, Zhou S Q, Dong W F. Study on benthos community ecology in the southern estuary of the Minjiang Estuary. *Marine Environmental Science*, 2006, 25(S1): 52-56.
- [19] Liao Y B, Shou L, Zeng J N, Gao A G, Jiang Z B. A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(3): 646-653.
- [20] Du F Y, Wang X H, Li C H, Zhang H H, Jia X P. Macrofaunal community structure in Daya Bay, South China Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1091-1098.
- [21] State Ocean Bureau. Report of Marine Environment Quality of China in 2004—2008. Beijing: 2004-2008.
- [22] Han J, Zhang Z N, Yu Z S. Macrofaunal community structure in the southern and central Bohai Sea, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 531-537.
- [23] Fang E J, Li J, Ma W L, Chen W, Wang Q L, A primary study on bottom macrofauna in the coastal waters of Bohai Bay, *Modern Fisheries Information*, 2006, 21(10): 11-15.

- [24] Zhang Q T, Wang X H, Fang E J, Ma W L, Hu G K. Studies on meiofauna abundance in offshore area of Bohai bay, Tianjin, China. *Marine Science Bulletin*, 2009, 28(2): 57-64.
- [25] Wang Y, Liu L S, Liu C Q, Zhu Y Z, Xu H M. Community structure characteristics of macrobenthos in the coastal seawaters of Bohai Bay in Spring. *Research of Environmental Sciences*, 2010, 23(4): 430-436.
- [26] 908 special office of the State Oceanic Administration. *Marine Survey and Assement in Offshore of China: The Survey of Technical Speciafication For Marine Bio-Ecological Survey*. Beijing: Ocean Press, 2006: 47-50.
- [27] Sun R Y. *Principles of Animal Ecology*. 2nd ed. Beijing: Beijing Normal University Press, 1992.
- [28] Zhang Z N, Zhou H. 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.
- [29] Ma C Y, Liu H, Wang H Q, Wang S Q. Multivariate analysis of community structure on macrobenthos. *China Environmental Science*, 1997, 17(4): 297-300.
- [30] Yuan W, Zhang Z N, Yu Z S. A study of macrofauna in the northwest of Jiaozhou Bay. *Periodical of Ocean University of China*, 2006, 36(5): 91-97.
- [31] Li B Q, Li X Z, Wang H F, Wang Y Q, Wang J B, Zhang B L. Characters of a macrobenthic community off the Changjiang River Estuary. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 57(1): 76-82.
- [32] Sun D Y, Liu Y C. Species composition and quantitative distributions of biomass and density of the macrobenthic infauna in the Bohai Sea. *Journal of oceangraphy of Huanghai and Bohai Sea*, 1991, 9(1): 42-50.
- [33] Zhang Z N, Tu L H, Yu Z S. Preliminary study on the macrofauna in the Huanghe River estuary and its adjacent waters. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1990, 20(2): 45-52.
- [34] Liu L S, Meng W, Zheng B H, Li X Z, Lei K, Li Z Y. Studies on macrobenthos in the northern waters of Liaodong Bay: I. Species composition and number distribution. *Research of Environmental Science*, 2008, 21(6): 118-123.

#### 参考文献:

- [ 3 ] 张培玉. 渤海湾近岸海域底栖动物生态学与环境质量评价研究. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [10] 彭欣, 谢起浪, 陈少波, 黄晓林, 仇建标, 仲伟, 关万春. 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. *生态学报*, 2011, 31(4): 954-963.
- [11] 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.
- [12] 厉红梅, 孟海涛. 深圳湾底栖动物群落结构时空变化环境影响因素分析. *海洋环境科学*, 2004, 23(1): 37-40.
- [13] 王小谷, 王春生, 张东声, 洪丽莎, 杨丹. 长江口及其陆架春季小型底栖生物丰度和生物量. *生态学报*, 2010, 30(17): 4717-4727.
- [14] 张敬怀, 高阳, 方宏达, 徐志斌. 珠江口大型底栖生物群落生态特征. *生态学报*, 2009, 29(6): 2989-2999.
- [15] 杜永芬, 徐奎栋, 类彦立, 代仁海. 青岛湾小型底栖生物周年数量分布与沉积环境. *生态学报*, 2011, 31(2): 431-440.
- [16] 贾海波, 胡颤琰, 唐静亮, 黄备, 毛宏跃, 王婕妤, 魏娜. 南黄海大型底栖生物生态调查与研究. *海洋与湖沼*, 2010, 41(6): 842-849.
- [17] 李荣冠, 王建军, 郑成兴, 郑凤武, 黄翔玲, 林俊辉, 江锦祥. 泉州湾大型底栖生物群落生态. *生态学报*, 2006, 26(11): 3562-3571.
- [18] 蓝虹, 郑崇荣, 周时强, 董炜峰. 闽江口以南近海底栖生物群落生态研究. *海洋环境科学*, 2006, 25(S1): 52-56.
- [19] 廖一波, 寿鹿, 曾江宁, 高爱根, 江志兵. 象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究. *生态学报*, 2011, 31(3): 646-653.
- [20] 杜飞雁, 王雪辉, 李纯厚, 张汉华, 贾晓平. 大亚湾大型底栖动物的群落结构. *生态学报*, 2009, 29(3): 1091-1098.
- [21] 国家海洋局. 2005—2008年中国海洋环境质量公报. 北京: 2005-2008.
- [22] 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.
- [23] 房恩军, 李军, 马维林, 陈卫, 王麒麟. 渤海湾近岸海域大型底栖动物 (Macrofauna) 初步研究. *现代渔业信息*, 2006, 21(10): 11-15.
- [24] 张青田, 王新华, 房恩军, 马维林, 胡桂坤. 天津近海小型底栖动物丰度研究. *海洋通报*, 2009, 28(2): 57-64.
- [25] 王瑜, 刘录三, 刘存歧, 朱延忠, 徐海明. 渤海湾近岸海域春季大型底栖动物群落特征. *环境科学研究*, 2010, 23(4): 430-436.
- [26] 国家海洋局908专项办公室. 我国近海海洋综合调查与评价, 海洋生物生态调查技术规程. 北京: 海洋出版社, 2006: 47-50.
- [27] 孙濡泳. 动物生态学原理 (第二版). 北京: 北京师范大学出版社, 1992.
- [28] 张志南, 周红. 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.
- [29] 马藏允, 刘海, 王惠卿, 王世权. 底栖生物群落结构变化多元变量统计分析. *中国环境科学*, 1997, 17(4): 297-300.
- [30] 袁伟, 张志南, 于子山. 胶州湾西北部海域大型底栖动物群落研究. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2006, 36(5): 91-97.
- [31] 李宝泉, 李新正, 王洪法, 王永强, 王金宝, 张宝琳. 长江口附近海域大型底栖动物群落特征. *动物学报*, 2007, 51(1): 76-83.
- [32] 孙道元, 刘银城. 渤海底栖动物种类组成和数量分布. *黄渤海海洋*, 1991, 9(1): 42-50.
- [33] 张志南, 图立红, 于子山. 黄河口及其邻近海域大型底栖动物的初步研究. *青岛海洋大学学报(自然科学版)*, 1990, 20(2): 45-52.
- [34] 刘录三, 孟伟, 郑丙辉, 李新正, 雷坤, 李中宇. 辽东湾北部海域大型底栖动物研究: I 种类组成与数量分布. *环境科学研究*, 2008, 21(6): 118-123.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 20 October ,2011( Semimonthly)**  
**CONTENTS**

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port .....	WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)
Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer .....	FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)
Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys ( <i>Rhinopithecus bieti</i> ) using landscape genetics .....	XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)
Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain .....	LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)
Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu .....	WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)
Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China .....	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)
Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security:a case study of Jiansanjiang land reclamation area .....	LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)
Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern .....	LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)
Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province .....	ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)
Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China .....	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)
Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau .....	LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)
Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhous bay and its potential ecological impacts .....	LAN Wenlu (5970)
Response of radial growth Chinese pine ( <i>Pinus tabulaeformis</i> ) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province .....	PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)
Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China .....	GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)
Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute .....	WANG Yating, FAN Lianlian (5992)
Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant <i>Thuja sutchuenensis</i> .....	LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)
Effects of shading on growth and quality of triennial <i>Clematis manshurica</i> Rupr. ....	HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)
Allelopathic effect of extracts from <i>Artemisia sacrorum</i> leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain .....	WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)
Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China .....	WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)
Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of <i>Stipa</i> L. in alpine grassland in northern Tibet in China .....	CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)
Water consumption and annual variation of transpiration in mature <i>Acacia mangium</i> Plantation .....	ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)
Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i> , to different light environments in the field .....	DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land: determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc .....	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land .....	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland .....	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment .....	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeiji: a FACE study .....	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen .....	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China .....	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties .....	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress .....	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy .....	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd <sup>2+</sup> .....	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd <sup>2+</sup> using the fruiting bodies of two macrofungi .....	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir .....	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i> .....	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae) .....	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems .....	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities .....	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks: the case of Huaibei City .....	CHANG Hsiaofei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009 .....	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan .....	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area .....	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent: a case study in Ningguo City, China .....	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model: a case study of Gansu Province, China .....	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
<b>Review and Monograph</b>	
A prospect for study on isolated wetland .....	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy .....	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering .....	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China .....	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

# 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 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 20 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	



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